

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra hydrotechniky



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Oživení veřejného prostoru před budovou Fakulty Stavební ČVUT  
v Praze pomocí vodních prvků

Revitalization of public space in front of the building of Faculty of  
Civil Engineering CTU in Prague using water features

Vedoucí diplomové práce: Ing. Martin Králík, Ph.D.

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Norková Jméno: Lucie Osobní číslo: 438433Zadávající katedra: Katedra hydrotechnikyStudijní program: Stavební inženýrstvíStudijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Oživení veřejného prostoru před budovou Fakulty stavební, ČVUT v Praze pomocí vodních prvkůNázev diplomové práce anglicky: Revitalization of public space in front of the building of Faculty of Civil Engineering CTU in Prague using water features

Pokyny pro vypracování:

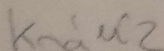
Popis vybraných veřejných prostorů s vodními prvky a jejich zhodnocení, uvážení možnosti veřejného prostoru před budovou Fakulty stavební, ČVUT v Praze, návrh variant řešení využití tohoto prostoru zahrnující popis jednotlivých řešení, hydraulické výpočty a návrh jednotlivých rozměrů vodních prvků, tvorba výkresové dokumentace

Seznam doporučené literatury:

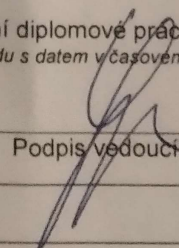
Studijní literatura v oboru hydraulických výpočtů (Hydraulika10: příklad/ Vladimír Havlík, Ivana Marešová), navrhování hydrotechnických staveb a balneotechniky (Balneotechnika / Josef Sklenář, Zdravotní inženýrství III.: Balneotechnika / Petr Šrytr)

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Martin Králík, Ph.D.Datum zadání diplomové práce: 27.9.2019Termín odevzdání diplomové práce: 6.1.2020

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku



Podpis vedoucího práce

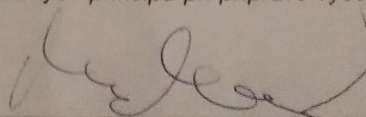
  
Podpis vedoucího katedry

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

18/9/2019

Datum převzetí zadání



Podpis studenta(ky)

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s metodickým pokynem ČVUT 1/2009 „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

.....

Místo zpracování, celé datum

.....

Lucie Norková

### **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkovala svému vedoucímu diplomové práce Ing. Martinu Králíkovi, Ph.D. za osobní přístup, rychlé jednání, trpělivost i cenné rady.

Za trpělivost, užitečné nápady a kontrolu bych ráda poděkovala i svým nejbližším.



## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce řeší využití veřejného prostoru před budovou fakulty Stavební ČVUT v Praze vodními prvky a to v několika varintách. Důraz je kladen na vzdělávací funkci, estetičnost, ale především na technické provedení a funkčnost vodních prvků. Navržena je jak nadzemní, tak i podzemní, technologická, část jednotlivých variant. Inspirace je čerpána z již realizovaných veřejných prostorů s vodními prvky. V závěru práce jsou jednotlivé varianty porovnány.

## **ABSTRACT**

This diploma thesis deals with the use of public space in front of the building of the Faculty of Civil Engineering CTU in Prague by water elements in several variants. Emphasis is placed on the educational function, aesthetics, but above all technical intepretation and functionality of water elements. Both, above-ground and underground, technological, part of individual variants are designed. Inspiration is drawn from already realized public spaces with water features. At the end of the thesis, the individual variants are compared.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Čerpadlo, filtr, koryto, vodní prvek, průběh hladin, stupeň, jez, turbína, potrubí, kritická hloubka, bystřinné proudění, říční proudění, ztráty třením, místní ztráty, vodní skok.

## **KEY WORDS**

Pump, filter, basin, water element, running of water level, weir, turbine, pipeline, critical depth, torrent flow, river flow, friction losses, local losses, water jump.

# Obsah

1	ÚVOD.....	2
2	CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE.....	2
3	POPIS VYBRANÝCH VEŘEJNÝCH PROSTORŮ S VODNÍMI PRVKY.....	2
3.1	Staroměstské náměstí v Mladé Boleslavi.....	2
3.2	Malešický park v Praze.....	6
3.3	Park Gutovka v Praze.....	9
4	POPIS VEŘEJNÉHO PROSTORU URČENÉHO PRO OŽIVENÍ.....	13
5	VARIANTNÍ ŘEŠENÍ.....	14
5.1	VARIANTA 1: Vodní fontána s uměleckými prvky.....	14
5.1.1	Popis návrhu.....	14
5.1.2	Hydraulický výpočet a návrh jednotlivých vodních prvků.....	15
5.1.2.1	Návrh koryta.....	15
5.1.2.2	Návrh technologické části.....	17
5.1.2.3	Návrh vodotrysku.....	26
5.1.2.4	Výpočet průběhu hladiny.....	29
5.1.3	Zhodnocení varianty 1.....	29
5.2	VARIANTA 2: Interaktivní vzdělávací vodní hřiště.....	30
5.2.1	Popis návrhu.....	30
5.2.2	Hydraulický výpočet a návrh jednotlivých vodních prvků.....	31
5.2.2.1	Návrh koryta.....	31
5.2.2.2	Volba rozměrů jednotlivých prvků.....	31
5.2.2.3	Objekt 1: Válcový jez a Francisova turbína.....	32
5.2.2.4	Objekt 2: Segmentový jez a Bankiho turbína.....	33
5.2.2.5	Objekt 3: Skluz a Kaplanova turbína.....	34
5.2.2.6	Objekt 4: Vodní trkač a Peltonova turbína.....	35
5.2.2.7	Objekt 5: Klapkový jez a plavební komora.....	36
5.2.2.8	Objekt 6: Stavidlový jez a skluz.....	36
5.2.2.9	Archimédův šroub.....	37
5.2.2.10	Přístaviště.....	37
5.2.2.11	Lod'ka.....	37
5.2.2.12	Provizorní hrazení.....	37
5.2.2.13	Výpočet průběhu hladin.....	38
5.2.2.14	Návrh technologické části.....	48
5.2.3	Zhodnocení varianty 2.....	54
5.3	VARIANTA 3: Vodní tok s technickými prvky.....	55
5.3.1	Popis návrhu.....	55
5.3.2	Hydraulický výpočet a návrh jednotlivých vodních prvků.....	56
5.3.2.1	Potrubní síť.....	56
5.3.2.2	Návrh koryta.....	62
5.3.2.3	Nádrž s odběrným objektem a vodojem.....	63
5.3.2.4	Návrh technologické části.....	63
5.3.2.5	Výpočet průběhu hladiny.....	67
5.3.3	Zhodnocení varianty 3.....	68
6	ZÁVĚR.....	68
7	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	69
8	SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A ROVNIC.....	73
9	SAMOSTATNÉ PŘÍLOHY.....	75
10	VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE.....	76

## **1 ÚVOD**

Na veřejném prostranství před budovou Fakulty stavební ČVUT v Praze se v současné době nachází prohlubeň vyložená betonovými deskami s několika lavičkami. Místo však již neodpovídá modernímu pojetí řešení veřejného prostoru a není vzhledově ani funkčně dostačující. Z toho důvodu vznikla myšlenka oživení tohoto prostoru. Přidání vodních prvků by mělo navázat na tradici okrasného jezírka, které se v minulosti v prostoru nacházelo.

## **2 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Cíle této bakalářské práce jsou následující:

- Seznámení se s problematikou výstavby interaktivních vodních prvků
- Získání informací z již existujících staveb a následné zvolení vhodných variant řešení pro prostor před budovou Fakulty stavební, ČVUT v Praze
- Uplatnění znalostí nabytých studiem pro výpočet a následný návrh jednotlivých prvků variantního řešení
- Zhodnocení jednotlivých řešení

## **3 POPIS VYBRANÝCH VEŘEJNÝCH PROSTORŮ S VODNÍMI PRVKY**

Pro získání základních informací a inspirace byly vybrány tři lokality – Staroměstské náměstí v Mladé Boleslavi, Malešický park v Praze a park Gutovka taktéž v Praze.

### **3.1 Staroměstské náměstí v Mladé Boleslavi**

Projekt rekonstrukce Staroměstského náměstí v Mladé Boleslavi byl uskutečněn v roce 2010 dle návrhu ateliéru Hlaváček a partner, s.r.o. Jedná se o velkou pěší zónu řešenou jako velkoplošnou fontánu, kterou lze po vypnutí trysek využít jaké místo shromáždění k různým veřejným a kulturním akcím. K místu přiléhá čtyřicetimetrové koryto symbolizující řeku Jizeru. Místa k parkování zabraná tímto konceptem jsou nahrazena parkovacím domem, který je taktéž vybaven interaktivními vodními prvky. Rozmístění jednotlivých prvků můžeme vidět na obrázku 3.1.1, na kterém je situace stavby, tak jak byla vytvořena pro účast v soutěži Stavba roku 2015, jejíž ocenění následně tento projekt získal. [01][02][03]

Pod číslem 1 dle situace je zobrazena velkoplošná fontána, která je tvořena 25 středovými a 62 obvodovými tryskami stříkajícími vodu do výšky od 1 – 6 m. Fontánu vidíme na obrázku 3.1.2



Obrázek 3.1.1: Situace Staroměstského náměstí v Mladé Boleslavi [03]



Obrázek 3.1.2: Fontána

Jedná se o betonový bazén s vodní akumulací překrytý kamenným obkladem se spárami. Systém fontán a vodotrysků je počítačově řízený a může tedy tryskat podle různých požadavků. Celá



technologie fontány obsahuje 101 trysek, oběhová čerpadla, osvětlení, řídicí regulační systém DMX, změkčovací stanici, filtraci vody a dávkování dezinfekce vody.[02][03]

Pod číslem 2 lze vidět interaktivní nerezové koryto představující řeku Jizeru, které obsahuje několik přepouštěcích mechanismů a sochy pracující s vodou. Sochy a přepouštěcí mechanismy jsou vidět na obrázcích 3.1.3 a 3.1.4. Na obrázku 3.1.5 vidíme celkový pohled na koryto. Otevíráním a uzavíráním pěti přepouštěcích mechanismů regulujeme hladinu vody v korytě. Měníme tak vodní režim a odkrýváme sochy schované pod vodou. [03]



Obrázek 3.1.3: Socha 1





Obrázek 3.1.4: Socha 2



Obrázek 3.1.5: Celkový pohled na koryto

Pod číslem 6 je vyobrazen bazének s vodopádem (obrázek 3.1.7), pod číslem 8 pak vodní kaskáda, kterou můžeme vidět i na obrázku 3.1.6. Číslo 13 symbolizuje interaktivní vodní píсты (obrázek 3.1.8). Ostatní prvky zobrazené v situace (3.1.1) nejsou vodního charakteru a není tedy třeba se jimi podrobněji zabírat. [03]





Obrázek 3.1.6: Vodní kaskáda



Obrázek 3.1.7: Bazének s vodopádem





*Obrázek 3.1.8: Vodní písky*

### **3.2 Malešický park v Praze**

Malešický park ze 70. let minulého století prodělal v letech 2012 a 2013 revitalizaci na základě projektu od architektonické kanceláře IAV. Ing. Arch. Vavřína Mikoláše. Součástí parku se stala část s vodními herními prvky pro děti a dále pak kaskáda a doplněná o fontány. Ucelenější pohled na dosti rozsáhlý areál můžeme vidět na obrázcích 3.2.1 a 3.2.2 [04]





Obrázek 3.2.1: Vodní kaskáda



Obrázek 3.2.2: Herní prvky pro děti

Soustava vodních herních prvků začíná na vrcholku kopce Malešického parku několika vodotrysky z nichž voda odtéká do žlabu, který je obklopuje, tak jak můžeme vidět na obrázku 3.2.3. Dále voda pak pokračuje přes malé nádrže vybavené pumpami (obrázek 3.2.4), několik lopatkových kol (obrázek 3.2.5), vodní šneky (obrázek 3.2.6) a Archimédovy šrouby (obrázek 3.2.7) do oblasti vodní kaskády a fontán (obrázek 3.2.1).





Obrázek 3.2.3: Vodotrysky se žlabem



Obrázek 3.2.4: Nádrž s pumpami





Obrázek 3.2.5: Lopatková kola



Obrázek 3.2.6: Vodní šneky





Obrázek 3.2.7: Archimédovy šrouby

Park je projektován jako přírodní a proto v něm není voda chemicky ošetřována a není tak pro děti závadná. A byly dodrženy hygienické standardy je voda jednou týdně čištěna specializovanou firmou. [05]

Jak je patrné z obrázků, je v současné době celá vodní atrakce mimo provoz z důvodu technické závady. Tuto závadu radnice Prahy 10 ve spolupráci s Pražskými vodovody a kanalizacemi řeší již od září 2019. [06]

S problémy se kaskády však nepotýkají poprvé. Již od roku 2017 se objevují závady. Kaskády zarůstají řasou, jsou zanesené spadaným listím a štěrskem, který do atrakce vhazují děti. Plocha okolo vodotrysků je pokryta zeleným kluzkým povlakem, který znesnadňuje užívání atrakcí. [05]

Proto areál vodních atrakcí prošel během let několika opravami. Nejprve došlo k opravám těsnění armatur, repase čerpadel, úpravy trysek, zprůchodnění ucpaných částí armatur a výměně částí elektroniky. Ve druhé fázi této opravy pak proběhla technologická úprava, které na rozdíl od původního projektu snaží předcházet zanášení a to osazením separačních košů a sít. Následovala reklamační oprava kamenných obkladů kaskád v roce 2018. [07][08]



### 3.3 Park Gutovka v Praze

Vodní svět v areálu Gutovka, který se stejně tak jako Malešický park nachází na Praze 10, je první projekt dětského vodního hřiště v České republice. Pro výstavbu, ke které došlo v roce 2008, byly použity výrobky firmy Richter spielgeraette GbHm. [09][10]

Ústředním prvkem vodního světa je koryto vydlážděné z drobných žulových kostek do betonu, kterým cirkuluje tekoucí voda. Voda je čištěna bazénovou technologií na základě pískových filtrů. [09][10]

Na korytu se nachází 15 herních prvků a u každého z nich je umístěna informační cedulka s návodem jak ho použít. Pohled na celý areál můžeme vidět na obrázku 3.3.1.



Obrázek 3.3.1: Vodní svět Gutovka [09]

I Gutovka se potýká se znečištěním v podobě šterku, kamínků a písku. Ty však nezpůsobují žádné technické problémy. Vedou pouze ke zdravotně nezávadnému zakalení vody a to především v dolní části. Návrhy na odstranění pískových a šterkových ploch z okolí vodních prvků byly již v počátku zamítnuty, jelikož možnost stavení z mokrého písku a kamínků je jednou z hlavních atrakcí hřiště. Proto je tento problém řešen každodenním čištěním areálu. Tomu napomáhá fakt, že je vodní svět součástí většího uzavřeného a hlídaného areálu sportovišť Gutovka. Má tedy svou otevírací dobu a



zajištěnou celoroční údržbu. I přesto není vodní svět z pochopitelných důvodů v provozu v zimních měsících. [09][11]

Jednotlivé vodní herní prvky jsou vidět na obrázcích 3.3.2, 3.3.3, 3.3.4, 3.3.5, 3.3.6, 3.3.7 a 3.3.8.



Obrázek 3.3.2: Vodní tryska



Obrázek 3.3.3: Nautilus šnek





Obrázek 3.3.4: Rotační dopravník



Obrázek 3.3.5: Archimédův šroub





Obrázek 3.3.6: Čerpací kolo



Obrázek 3.3.7: Vodní dílo





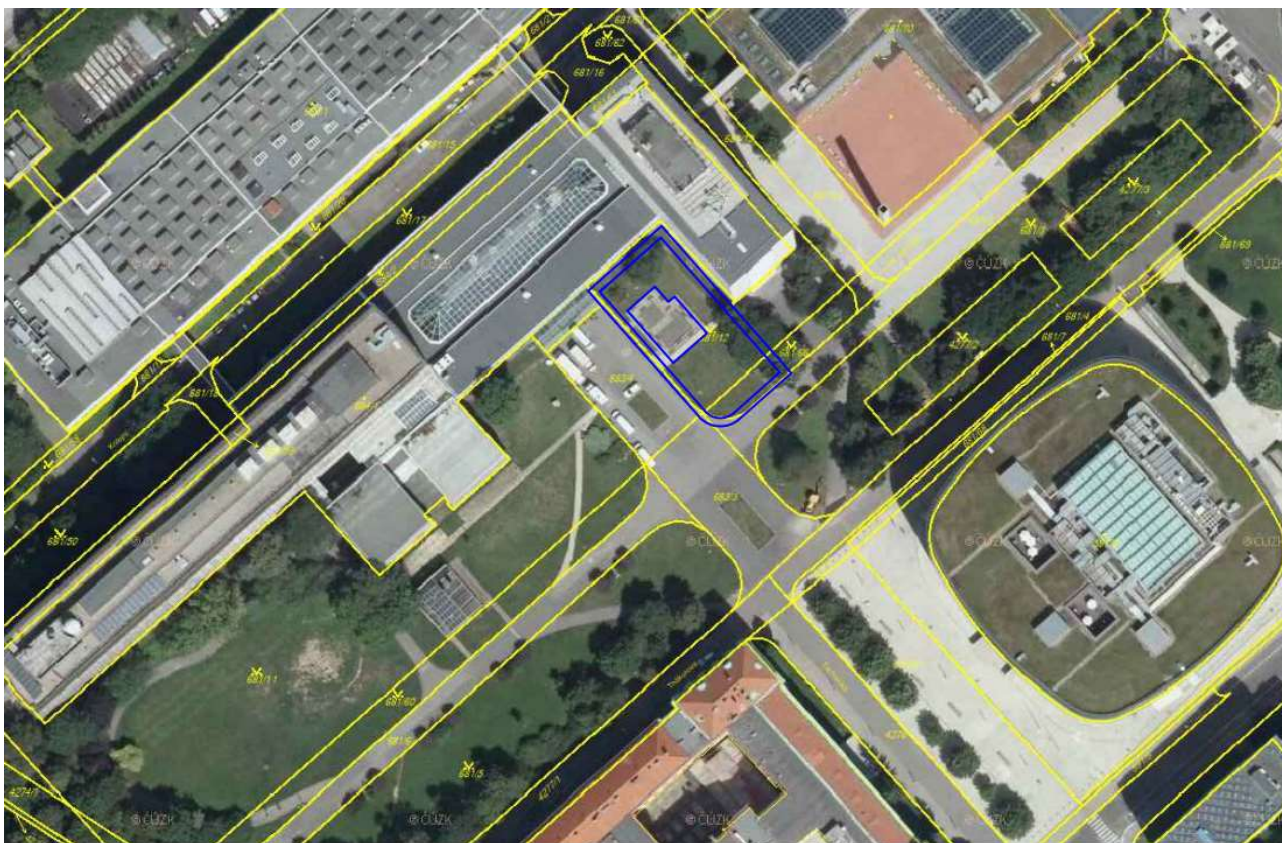
Obrázek 3.3.8: Vodní pumpa

#### 4 POPIS VEŘEJNÉHO PROSTORU URČENÉHO K OŽIVENÍ

Prostor se nachází vedle vchodu do budovy Fakulty stavební ČVUT v Praze. Je z jedné strany ohraničen budovou C a z druhé strany budovou A Fakulty stavební. Dvě zbývající strany jsou ohraničeny chodníky z nichž jeden vede ke hlavnímu vchodu do budovy Fakulty. Prostor ve tvaru obdélníku o rozměrech 48m x 24 m se zaobleným rohem v místě, kde se setkávají oba chodníky, o poloměru 10 m zaujímá plochu asi 1130 m<sup>2</sup>.

Jedná se o zatravněný prostor v jehož středu se nachází prohlubeň vyložená betonovými deskami, na nichž je umístěno několik dřevěných laviček. Prohlubeň v tvary vykousnutého obdélníku rozměrech 17m x 11m s vykousnutou částí přiléhající k rohu, kde se svírá budova C s budovou A, o rozměrech 2m x 5m slouží za hezkého počasí k relaxaci a odpočinku. Prohlubeň zaujímá plochu o cca 177 m<sup>2</sup>.

Prostor je vyznačen modrou barvou na obrázku . Z obrázku je také patrné, že se prostor nachází na pozemku parcelní číslo 681/12 na níž má vlastnické právo České vysoké učení technické v Praze, Jugoslávských partyzánů 1580/3, Dejvice, 160 00 Praha 6. Jedná se o památkově chráněné území bez evidence BPEJ. Parcela je zařazena mezi ostatní plochy s využitím pro zeleň.



Obrázek 4.1: Prostor určený k oživení [23]

Prostor nebyl geodeticky zaměřen a proto jsou jeho rozměry pouze odhadnuty na základě mapových podkladů (mapy.cz, maps.google.cz a [sgi-nahlizenidokn.cuzk.cz](http://sgi-nahlizenidokn.cuzk.cz)) a dále bylo provedeno geodetické situační zaměření při prohlídce. Stejně tak byl prostor geodeticky zaměřen výškově.

## 5 VARIANTNÍ ŘEŠENÍ

### 5.1 VARIANTA 1: Vodní fontána s uměleckými prvky

Toto řešení využije prostoru před Fakultou stavební pro vyobrazení jednotlivých studijních specializací studijního programu Stavební inženýrství. Poukáže tak na rozmanitost nejstarší a největší stavební fakulty v České republice a zároveň oživí prostor o vodní prvek. Dojde tak k pozvednutí odpočinková funkce prostoru. [12]

#### 5.1.1 Popis návrhu

Ústředním prvkem tohoto řešení je koryto, na které jsou umístěny kovové modely představující jednotlivé obory. Umístěny budou na toku nebo v jeho bezprostřední blízkosti .

Koryto samotné představuje specializaci Vodní hospodářství a vodní stavby. Specializace Konstrukce a dopravní stavby bude vyobrazena mostem s kombinovanou silniční a železniční



dopravou vedoucím přes koryto. Specializaci Pozemní stavby bude představovat model rodinného domku. Pro vyobrazení specializace Inženýrství životního prostředí budou podél toku umístěny modely několika keřů, strom a do toku zasahujícího rákos. Pro specializaci Management a ekonomika ve stavebnictví bude vedle toku umístěn model muže, který prezentuje na tabuli graf. Model rozestavěné výškové budovy s jeřábem bude představovat specializaci Příprava, realizace a provoz staveb. Specializace Materiálové inženýrství bude symbolizována modely složek betonu, tedy hromádkou kameniva, pytle cementu, kohoutkem s vodou, kanystrem s příměsí a nádobou s přísadami. Poslední model bude zároveň vodotryskem ve tvaru hasiče, který bude vodu rozstříkovat na model hořícího domu. Modely jsou zobrazeny ve výkrese 1.4.

Na konci koryta bude voda vedena pod zem do akumulární jímky a čerpána zpět na začátek koryta. Koryto využije pro získání dostatečného podélného sklonu stávající prohlubeň, která však bude nově upravena. Z půdorysného pohledu bude koryto spirálovitě vedeno z horního okraje prohlubně na její dno. Přes koryto budou vedeny dřevěné lávky, tak aby se koryto dalo pohodlně přejít a nestalo se překážkou.

Prostor prohlubně bude vyložen nepravidelnou kamennou dlažbou z porfyru do betonu. Ze stejného materiálu bude i cestička směřující k budově Fakulty architektury ČVUT v Praze. Samotné koryto bude taktéž z kamenné dlažby do betonu, avšak velikost jednotlivých dlažebních kamenů bude značně menších, tak aby koryto bylo opticky odděleno, a zároveň bylo snazší vyskládat z kamenů požadovaný příčný tvar koryta. Zbytek prostoru bude zatravněn.

Dojde také k obnově zeleně a vhodnějšímu umístění laviček. Lavičky budou umístěny i do prostoru v blízkosti koryta, kde zeleně bude umístěna do květináčů.

Vše je vyznačeno ve výkresu 1.1.

## 5.1.2 Hydraulický výpočet a návrh jednotlivých vodních prvků

### 5.1.2.1 Návrh koryta

Tvar koryta bude lichoběžníkový o šířce ve dně  $b=0,2$  m a hloubce vody  $y=0,1$  m. Hloubka koryta  $h$  je převýšena o 5 cm oproti hloubce vody a tedy  $h=0,15$  m. Sklon břehů je navržen 1:1 a šířka koryta  $B$  tedy vychází jako  $B=0,5$  m. Podélný sklon  $i$  vychází z délky koryta  $l=73,65$  m a celkového převýšení  $z$ , daného již stávající prohlubní,  $z=1$  m a je tedy roven  $i=1,4$  %. Dle Chézyho rovnice (rovnice 5.1.2.1) je vypočítána rychlost proudění  $v=0,75$  m/s.

$$v = C \cdot \sqrt{R \cdot i}$$

Rovnice 5.1.2.1: Chézyho rce [13]

Kde  $v$  – rychlost proudění

$R$  – hydraulický poloměr (poměr mezi průtočnou plochou a omočeným obvodem) [m]

$i$  – sklon čáry energie [%]

$C$  – Chézyho rychlostní součinitel [ $\text{m}^{0.5}/\text{s}$ ]

Chézyho rychlostní součinitel je vypočítán podle vzorce dle Manninga (rovnice 5.1.2.2), ve kterém je Manningův součinitel drsnosti  $n$  určen jako střední hodnota pro dlažbu s vylitím spar cementovou maltou  $n=0,025$ , viz tabulka 5.1.2.1.

$$C = \frac{1}{n} * R^{\frac{1}{6}}$$

Rovnice 5.1.2.2 Chézyho rychlostní součinitel [13]

Kde  $C$  – Chézyho rychlostní součinitel [ $\text{m}^{0.5}/\text{s}$ ]

$R$  – hydraulický poloměr (poměr mezi průtočnou plochou a omočeným obvodem) [m]

$n$  – Manningův součinitel drsnosti

Následně je vypočítán průtok pro charakteristický příčný profil  $Q=22,0$  l/s.

I. Kovové materiály			
1. Hladký kovový povrch			
a) nenatřený	0,012	0,013	0,017
b) natřený	0,011	0,012	0,014
II. Nekovové materiály			
1. Cementový povrch			
a) vyhlazený	0,010	0,011	0,013
b) běžná omítka	0,011	0,013	0,015
2. Dřevo			
a) hoblované	0,010	0,012	0,015
b) nehoblované	0,011	0,013	0,015
c) potažené lepenkou	0,010	0,014	0,017
3. Beton			
a) hlazený ocelovým hladítkem	0,011	0,013	0,015
b) zatřený dřevěným hladítkem	0,013	0,015	0,016
c) nazatřený	0,014	0,017	0,020
d) torkretovaný, rovný povrch	0,016	0,019	0,023
e) torkretovaný, vlnitý povrch	0,018	0,022	0,025
f) na dobře vyhloubené skále	0,017	0,020	
g) na nepravidelně vyhloubené skále	0,022	0,027	
4. Betonové dno se stěnami			
a) z opracovaného kamene do betonu	0,015	0,017	0,020
b) ze zdiva z lomového kamene - omítnutého	0,016	0,020	0,024
c) ze zdiva z lomového kamene - neomítnutého	0,020	0,025	0,030
5. Štěrkové dno se stěnami			
a) z betonu	0,015	0,019	0,025
b) ze smíšeného kamene do betonu	0,020	0,023	0,026
c) z lomového kamene na sucho, nebo s pohozením	0,023	0,033	0,036
6. cihly do cementové malty	0,012	0,015	0,018
7. Kamenné opevnění			
a) dlažby s vylitím spar cementovopu maltou	0,017	0,025	0,030
b) dlažby na sucho	0,023	0,032	0,035
9. Vegetační opevnění	0,030		0,500

Tabulka 5.1.2.1 Hodnoty Manningova součinitele drsnosti  $n$  otevřených koryt s částečně nebo zcela umělým povrchem [14]

Oblouky na trase jsou voleny jako kružnicové bez přechodové části. Mezi oblouky jsou vkládány přímé úseky.

### 5.1.2.2 Návrh technologické části

Voda na konci odtéká do podzemní akumulární jímky o velikosti  $5,7 \text{ m}^3$  a rozměrech  $1,7 \times 1,8 \times 1,9 \text{ m}$  (šířka x délka x výška). Pojme tak maximální možný objem vody v korytě navýšený o 50%.

Hladina stálého nadržení je stanovena na 215,20 m n. m. což činí hloubku vody v nádrži 0,5m.

Akumulární jímka bude budována jako vana o tloušťce stěny 300 mm a bude osazena senzorem, který reaguje na množství vody v jímce. Úbytek vody odparem a smáčením bude automaticky doplňován z vodovodního řadu. Stejně tak bude automaticky odváděna přebytečná voda do kanalizace, která se do systému dostala například během srážkové události. Nádrž je dále vybavena

výpustný potrubím s uzávěrem pro potřebu celkového vypuštění nádrže pro revize, opravy či zimní odstávku.

Na vtoku je jímka osazena nerezovým roštem pro zachycení nečistot.

Jak akumulární jímka tak technologická šachta je vybavena vstupním otvorem o rozměrech 700x700 mm, přiklopeným pochozím šachtovým poklopem, a žebříkem. Je tak umožněn vstup pro údržbu, revize či opravy. Z jímky je voda čerpána přes filtr do uklidňovací nádrže, odkud odtéká do koryta.

Uklidňovací nádrž je o velikosti 0,1 m<sup>3</sup> a rozměrech 0,5x0,5x0,5 m (šířka x délka x výška). Na dně jímky je umístěno perforované potrubí stejného rozměru jako potrubí výtlačné, jež přivádí vodu do této nádrže. Voda je tak rovnoměrně rozváděna po uklidňovací nádrži a následně odtéká do koryta.

Vzhledem k tomu, že zdrojem vody je vodovodní řad, a že se nepředpokládá aktivní kontakt návštěvníků s vodou, bude voda čištěna pomocí bubnového filtru. Pro průtok  $Q=22,0$  l/s je vhodné použít například bubnový filtr AEM D – 100, jehož technický list nalezneme v příloze A. Místní ztráty na tomto filtru jsou dle údajů telefonicky poskytnutých prodejcem Star-fish jezírka s.r.o. minimální. Do výpočtu jsou tedy zahrnuty jako 10% celkových ztrát. [24]

Sací potrubí je navrženo tak, aby nebyla překročena rychlost 1,2 m/s a nedocházelo tak k vibracím a tlakovým rázům. Dle tabulky 5.1.2.2 je zvoleno potrubí z PVC o průměru DN 200. Pro výtlačné potrubí by se rychlost měla pohybovat mezi 1,8 m/s a 2 m/s. Dle tabulky 5.1.2.2 je tedy zvoleno potrubí z PVC o průměru DN 140. Obě potrubí jsou volena z tlakové řady PN 10. [17]

Vnější Ø potrubí (mm)	Minimální tloušťka stěny potrubí (mm)	Vnitřní Ø potrubí (mm)	Průtoky v potrubí (m <sup>3</sup> /h) při různých rychlostech proudění v potrubí		
			rychlost 1,2 m/s	rychlost 1,8 m/s	rychlost 2,0 m/s
			sání čerpadla	výtlač čerpadla	výtlač čerpadla (kritická rychlost)
20	1.9	16.2	0.28	1.33	1.48
25	1.9	21.2	1.52	2.28	2.54
32	2.4	27.2	2.51	3.76	4.18
40	1.9	36.2	4.44	6.66	7.41
50	2.4	45.2	6.92	10.39	11.55
63	3.0	57.0	11.02	16.52	18.36
75	3.6	67.8	15.58	23.38	25.98
90	4.3	81.4	22.46	33.70	37.45
110	4.2	101.6	35.01	52.50	58.34
125	4.8	115.4	45.16	67.74	75.27
140	5.4	129.2	56.61	84.91	94.35
160	6.2	147.6	73.88	110.82	123.13
180	6.9	166.2	93.67	140.51	156.12
200	7.7	184.6	115.56	173.34	192.60
250	9.6	230.8	180.64	270.97	301.07
315	12.1	290.8	286.77	430.16	477.96

Tabulka 5.1.2.2: Průtoky v potrubí z PVC [17]

Čerpadlo je navrženo pro potřebný průtok  $Q=22,0$  l/s a dopravní výšku  $H_d$ , která se vypočte dle rovnice 5.1.2.3.

$$H_d = H_g + Z_s + Z_v + \frac{p_b}{\rho * g} - \frac{p_a}{\rho * g} + \frac{v_a^2}{2 * g} - \frac{v_b^2}{2 * g}$$

Rovnice 5.1.2.3: Dopravní výška [18]

Kde  $H_d$ - dopravní výška [m]

$H_g$ - celkový geodetický spád [m]

$Z_s$  – ztráty na sacím potrubí [m]

$Z_v$  – ztráty na výtlačném potrubí [m]

$p_b$  – tlak na výtoku z potrubí [Pa]

$p_a$  – tlak na přítoku do potrubí [Pa]

$\rho$  – hustota transportovaného média ( $\rho_{\text{vody}}=1000 \text{ m}^3/\text{kg}$ ) [ $\text{m}^3/\text{kg}$ ]

$v_a$  – rychlost na přítoku do potrubí [ $\text{m/s}$ ]

$v_b$  – rychlost na odtoku z potrubí [ $\text{m/s}$ ]

$g$  – gravitační zrychlení ( $g=9,81 \text{ m/s}^2$ ) [ $\text{m/s}^2$ ]

Celkový geodetický spád je roven  $H_g=2,60 \text{ m}$ . Obě nádrže jsou uvažovány jako nádrže velké a rychlostní výšky  $v_b$  a  $v_a$  jsou tedy rovny 0. Tlaky v obou nádržích jsou rovny hydrostatickému tlaku dle vzorce 5.1.2.4.

$$p=h*\rho*g$$

Rovnice 5.1.2.4: Hydrostatický tlak [19]

Kde  $p$  – hydrostatický tlak [ $\text{Pa}$ ]

$h$  – hloubka vody nad vtokem/výtokem [ $\text{m}$ ]

$\rho$  – hustota transportovaného média ( $\rho_{\text{vody}}=1000 \text{ m}^3/\text{kg}$ ) [ $\text{m}^3/\text{kg}$ ]

$g$  – gravitační zrychlení ( $g=9,81 \text{ m/s}^2$ ) [ $\text{m/s}^2$ ]

Hloubka vody nad vtokem do potrubí  $h_a$ , tedy střední hloubka vody nad výtokem z nádrže, je rovna  $h_a=0,31 \text{ m}$ . Dle vzorce 5.1.2.4 je tedy hydrostatický tlak  $p_a=3,04 \text{ kPa}$ . Hloubka vody nad vtokem do uklidňovací nádrže  $h_b$  je rovna  $h_b=0,38 \text{ m}$ . Hydrostatický tlak  $p_b$  je tedy roven  $p_b=3,73 \text{ kPa}$ .

Ztráty na sacím potrubí  $Z_s$  se stejně jako ztráty na výtlačném potrubí  $Z_v$  rovnají součtu ztrát třením  $Z_t$  a ztrát místních  $Z_m$  na daném potrubí a celkové ztráty se tedy rovnají součtu celkových místních ztrát a celkových ztrát třením, tedy:

$$Z=Z_t+Z_m=Z_s+Z_v$$

Rovnice 5.1.2.5: Celkové ztráty [18]

Kde  $Z$  – celkové ztráty [ $\text{m}$ ]

$Z_t$  – ztráty třením [ $\text{m}$ ]

$Z_m$  – ztráty místní [ $\text{m}$ ]

$Z_s$  – ztráty na sacím potrubí místní [ $\text{m}$ ]

$Z_v$  – ztráty na výtlačném potrubí místní [ $\text{m}$ ]

Ztráty třením byly vypočteny dle vzorce 5.1.2.6.



$$Z_t = \lambda * \frac{l}{D} * \frac{v^2}{2 * g}$$

Rovnice 5.1.2.6: Ztráty třením [18]

Kde  $Z_t$  – ztráty třením [m]

$\lambda$  – součinitel ztráty třením [-]

$l$  – délka potrubí [m]

$D$  – průměr potrubí [m]

$v$  – rychlost proudění [m/s]

$g$  – gravitační zrychlení ( $g=9,81 \text{ m/s}^2$ ) [ $\text{m/s}^2$ ]

Výpočet jednotlivých veličin je uveden v tabulce 5.1.2.3, stejně tak jako hodnoty návrhových veličiny.

Kinematická viskozita	$v=$	1,33E-06	$\text{m}^2/\text{s}$
Průtok	$Q=$	0,022	$\text{m}^3/\text{s}$
Hydraulická drsnost PVC	$\Delta=$	0,001	mm

		Výtlačné potrubí	Sací potrubí
Průměr potrubí	$D$ [mm]	140	200
Délka potrubí	$l$ [m]	9,77	0,80
Hydraulická drsnost / průměr potrubí	$\Delta/D$ [-]	7,14E-06	5,00E-06
Průtočná plocha	$S=\pi*DN^2/4$ [ $\text{m}^2$ ]	0,02	0,03
Rychlost proudění	$v=Q/S$ [m/s]	1,43	0,70
Reynoldsovo číslo	$Re=v*D/v$ [-]	150 513	105 359
Součinitel ztráty třením	$\lambda$ [-]	0,016	0,018
<b>Ztráta třením</b>	<b><math>Z_{ti}</math> [m]</b>	<b>0,116</b>	<b>0,002</b>

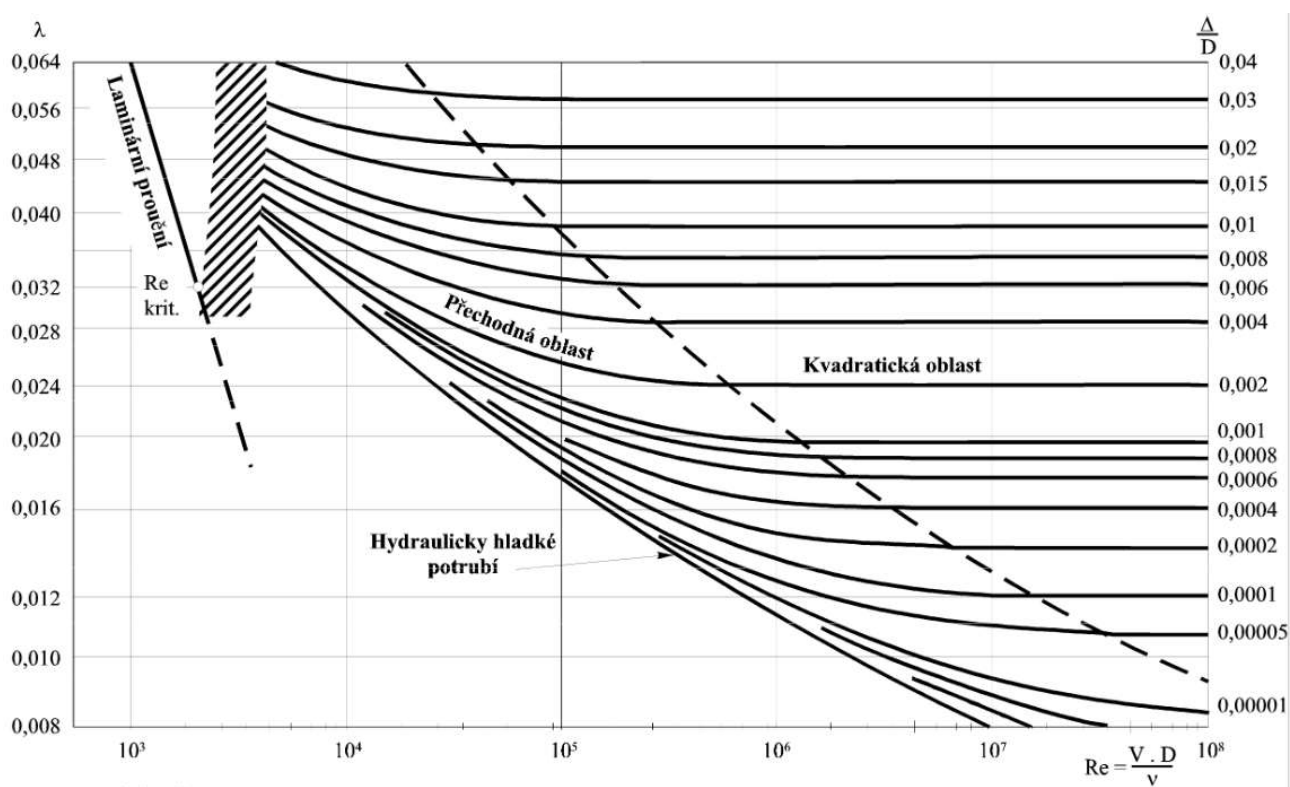
**Celková ztráta třením  $Z_t=$  0,118 m**

Tabulka 5.1.2.3: Výpočet ztrát třením

Kinematická viskozita vody  $v$  je uvažována při průměrné roční teplotě  $9,5^\circ\text{C}$  dle tabulky 5.1.2.4. Součinitel ztrát třením  $\lambda$  byl odečten z Moodyho diagramu (5.1.2.5) dle hodnoty Reynoldsova čísla  $Re$  a poměru  $\Delta/D$ . Hydraulická drsnost  $\Delta$  pro PVC byla určena z tabulky 5.1.2.6. Jednotlivé délky potrubí byly odečteny z výkresu 1.3. [66]

T °C	$\rho$ $\text{kgm}^{-3}$	$\nu \cdot 10^6$ $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$	T °C	$\rho$ $\text{kgm}^{-3}$	$\nu \cdot 10^6$ $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$
0	999,84	1,7938	22	997,77	
1	999,90	1,7321	23	997,54	
2	999,94	1,6738	24	997,30	
3	999,96	1,6188	25	997,04	0,896
4	999,97	1,5671	26	996,78	
5	999,96	1,5188	27	996,51	
6	999,94	1,4726	28	996,23	
7	999,90	1,4289	29	995,94	
8	999,85	1,3873	30	995,65	0,804
9	999,78	1,3479	31	995,34	
10	999,70	1,3101	32	995,08	
11	999,60	1,2740	33	994,70	
12	999,50	1,2396	34	994,37	
13	999,38	1,2067	35	994,03	0,727
14	999,24	1,1756	40	992,36	0,661
15	999,10	1,1456	50	988,24	0,515
16	998,94	1,1166	60	983,38	0,478
17	998,77	1,0886	70	977,99	0,415
18	998,59	1,0616	80	972,01	0,367
19	998,40	1,0356	90		0,327
20	998,20	1,0105	100	959,69	0,294
21	997,99				

Tabulka 5.1.2.4: Hustota  $\rho$  a kinematická viskozita vody v při tlaku 105 Pa [14]



Tabulka 5.1.2.5: Moodyho diagram [14]

Materiál	Manning	Hazen-Williams	White-Colebrook		
	n [-]	c [-]	k <sub>min</sub> [mm]	k <sub>str</sub> [mm]	k <sub>max</sub> [mm]
PVC, PE, PP	0,008	150	0,001	0,01	
Sklolaminát	0,008	150	0,001	0,01	
Plastbeton	0,009	145	0,001	0,02	
Azbestocement	0,011	140	0,1	0,4	0,6
Kamenina, nová kvalitní	0,010	130		0,25	
Kamenina - výpočtová hodnota	0,012	125		0,4	
Kamenina, použitá	0,013	100	0,3		1,5
Ocel, bezešvá nová	0,010	140	0,015	0,05	0,09
Ocel, svařovaná nová	0,010	140	0,04		0,1
Ocel, s nátěrem nová	0,010	135	0,05	0,1	0,15
Ocel, použitá vyčištěná	0,011	130	0,15		0,4
Ocel, mírně zrezivělá, lehce inkrustovaná	0,012	120	0,25	0,4	1,0

Tabulka 5.1.2.6: Drsnost potrubí [20]

Pro výpočet místních ztrát  $Z_m$  byl použit vzorec 5.1.2.7.

$$Z_m = \sum \zeta * \frac{v^2}{2 * g}$$

Rovnice 5.1.2.7: Místní ztráty [18]

Kde  $Z_m$  – ztráty místní [m]

$\zeta$  – součinitel ztráty třením [-]

$v$  – rychlost proudění [m/s]

$g$  – gravitační zrychlení ( $g=9,81 \text{ m/s}^2$ ) [ $\text{m/s}^2$ ]

Jednotlivé použité součinitele a z nich vypočtené ztráty  $Z_m$  jsou uvedeny v tabulce 5.1.2.7.

**Výtlačné potrubí**

	Počet	$\zeta$ [-]
Čerpadlo zúžení (DN 140/150)	1	0,01
Kolena 90°	4	1,13
Zpětná klapka – otevřená	1	0,56
Výtok	1	1,00

Suma součinitelů místních ztrát	$\Sigma \zeta =$	6,09	-
Místní ztráta na výtlačném potrubí	$Z_{mv} =$	0,63	m

**Sací potrubí**

	Počet	$\zeta$ [-]
Vtok	1	0,50
Filtr – zúžení (DN 110/200)	1	0,31
Filtr – rozšíření (DN 200/110)	1	5,64
Ventil – otevřený	2	4,95
Zpětná klapka – otevřená	1	0,56
Čerpadlo rozšíření (DN 200/150)	1	0,60

Suma součinitelů místních ztrát	$\Sigma \zeta =$	17,51	-
Místní ztráta na sacím potrubí	$Z_{ms} =$	0,44	m

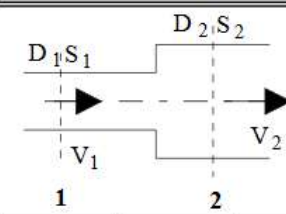
<b>Celkové místní ztráty</b>	$Z_m = Z_{ms} + Z_{mv} =$	<b>1,07</b>	<b>m</b>
------------------------------	---------------------------	-------------	----------

Tabulka 5.1.2.7: Výpočet místních ztrát

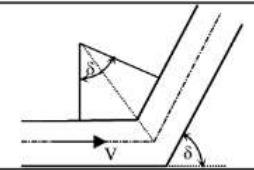
Součinitele pro zúžení a rozšíření jsou odečteny z tabulek 5.1.2.8 a 5.1.2.9. Součinitel pro kolena z tabulky 5.1.2.10. Součinitel pro vtok a výtok z tabulky 5.1.2.11. Součinitel pro ventily a klapky z tabulky 5.1.2.12.

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div> <b>součinitel <math>\zeta_z</math> vztažen k průměru <math>D_2</math></b> </div> <div> </div> </div>									
$S_2 / S_1$	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
$D_2 / D_1$	0,95	0,89	0,83	0,775	0,71	0,63	0,55	0,45	0,32
$\zeta_z$	0,01	0,062	0,10	0,164	0,22	0,27	0,31	0,34	0,36

Tabulka 5.1.2.8: Součinitel ztráty náhlým zúžením průřezu dle Tullise [14]

<p>součinitel <math>\zeta_r</math> vztažen k průměru <math>D_2</math></p> 									
$D_2 / D_1$	1,00	1,20	1,25	1,33	1,50	1,67	2,00	2,50	3,00
$S_2 / S_1$	1,00	1,44	1,56	1,78	2,25	2,78	4,00	6,25	9,00
$\zeta_r$	0,00	0,19	0,32	0,60	1,56	3,17	9,00	27,6	64,0

Tabulka 5.1.2.9: Součinitel ztrát náhlým rozšířením průřezu (Bordova ztráta) [14]

$\delta$	15°	30°	45°	60°	90°	
$\zeta_s$ hladká potrubí	0,04	0,13	0,24	0,47	1,13	
$\zeta_s$ drsná potrubí	0,06	0,17	0,32	0,68	1,27	

Tabulka 5.1.2.10: Ztrátový součinitel ostrých kolen podle Thomy [14]

TYP VTOKU	Platnost	$\zeta_v$	uzávěr	Klapka	Šoupě	Ventil
a) Potrubí zasahuje do nádrže		0,8 - 1,0	otevření [%]	$\zeta_u$	$\zeta_u$	$\zeta_u$
b) Ostrá vstupní hrana		0,5	0	100000	100000	100000
c) Seříznutá vstupní hrana	$L/D \cong 0,1$	0,25	10	2499	190	6756
d) Zaoblená vstupní hrana	$r/D \cong 0,06$	0,20	20	203,08	30	624
e) Kruhově zaoblený vtok	$r = 0,2.D$	0,11	30	50,02	10,5	122,4
Výtok do velké nádrže		1,0	40	21,67	4,3	50
			50	10,11	2,06	24
			60	5,06	0,98	13,79
			70	3,52	0,44	9,4
			80	2,56	0,15	7,16
			90	1,44	0,06	5,57
			100	0,56	0,03	4,95

Tabulka 5.1.2.11: Součinitel ztráty vtokem do potrubí a výtokem do velké nádrže [14]

Tabulka 5.1.2.12: Průtokové charakteristiky vnitřních uzávěrů podle Tullise [14]

Celkové ztráty jsou tedy dle rovnice 5.1.2.5 rovny  $Z=1,19$  m. Pro ztráty na bubnovém filtru bude ztráty navýšeny o 10% a sice o 0,12 m. Po korekci se tedy celkové ztráty rovnají  $Z=1,31$  m. Dopravní výška je tedy dle vzorce 5.1.2.3 rovna  $H_d=3,98$  m.

Optimální čerpadlo pro průtok  $Q=22,0$  l/s a dopravní výšku  $H_d=3,98$  m bylo vybráno za pomoci programu PHAN 3. Jedná se o čerpadlo UNIVERSE – A AQRS/150-1-220-GF-W1 a jeho technický list nalezneme v příloze B.

Pro čerpadlo bylo ověřeno splnění podmínky pro pokles tlakové energie v sací části čerpadla daný výškou vodního sloupce tzv. NPSH (net positive suction head, česky „čistá pozitivní sací výška“)  
5.1.2.8. [25]

$$NPSH_r > NPSH_a$$

Rovnice 5.1.2.8: Net positive suction head [25]

Kde  $NPSH_r$  – požadovaná NPSH (required) [m]

$NPSH_a$  – dostupná NPSH (available) [m]

Požadované  $NPSH_r$  je odečteno z charakteristik čerpadla v příloze B jako  $NPSH_r=5,22$  m.  $NPSH_a$  je spočteno dle vzorce 5.1.2.9.

$$NPSH_a = H_A - h_p - h_{pv} - h_s$$

Rovnice 5.1.2.9: Dostupné NPSH [25]

Kde  $NPSH_a$  – dostupná NPSH (available) [m]

$H_A$  – atmosférický tlak [m]

$h_p$  – tlak nasycených vodních par [m]

$h_{pv}$  – ztráty potrubí [m]

$h_s$  – geodetická sací výška [m]

Atmosférický tlak je uvažován jako  $H_A=10,34$  m, tlak nasycených vodních par je odečten z tabulky 5.1.2.13 jako  $h_p=2400$  Pa, což odpovídá 0,24 m. Ztráty potrubí bylo vypočteny jako  $h_{pv}=0,44$  m (jako součet ztrát třením na sacím potrubí  $Z_{ts}=0,002$  m a místních ztrát na sacím potrubí  $Z_{ms}=0,44$  m) a geodetická sací výška je odečtena z výkresu 1.3 jako  $h_s=-0,31$  m.  $NPSH_a$  se tedy rovná  $NPSH_a=10,34-0,24-0,44+0,31=9,97$  m.

Podmínka 5.1.2.8 je tedy splněna.

teplota vody	(°C)	10	20	30	40	50	60	70	80
tlak syté páry	(kPa)	1,23	2,34	4,24	7,38	12,34	19,92	31,2	47,4
hustota	(kg.m <sup>-3</sup> )	1000	998,0	996,2	992,1	988,1	983,3	977,5	971,8

teplota vody	(°C)	90	100	110	120	130	140	150	160
tlak syté páry	(kPa)	70,1	101,3	143,3	198,5	270,1	361,4	476,0	618,0
hustota	(kg.m <sup>-3</sup> )	965,3	957,9	950,6	943,4	934,6	925,9	916,6	907,4

Tabulka 5.1.2.13: Závislost tlaku nasycených vodních par na teplotě [25]

### 5.1.2.3 Návrh vodotrysku

Model hasiče bude vyroben tak, aby v rukou svíral hasičkou hadici pod úhlem  $45^\circ$  a dosahoval tak maximální délky doskoku paprsku  $L_p$ . Po dosazení  $\delta=45^\circ$  do rovnice 5.1.2.10, dostaneme vztah pro  $L_p=2h_d$ . Výška dostřiku je po dosazení do rovnice 5.1.2.11  $y_0=0,5h_d$ .

$$L_p=2 \cdot h_d \cdot \sin(2\delta)$$

Rovnice 5.1.2.10: Doskok paprsku [15]

$$y_0=h_d \cdot \sin^2(\delta)$$

Rovnice 5.1.2.11: Výška dostřiku [15]

Kde  $L_p$  – délka doskoku paprsku [m]

$y_0$  – výška dostřiku paprsku [m/s]

$h_d = v_0^2/g$  – energetická výška paprsku [m]

$v_0$  – počáteční rychlost [m/s]

$g$  – gravitační zrychlení ( $g=9,81 \text{ m/s}^2$ ) [m/s<sup>2</sup>]

Model bude umístěn ve vzdálenosti 1,5 m od modelu hořící domu a tedy  $L_p=1,5 \text{ m}$ . Z toho následně dostáváme potřebnou počáteční rychlost  $v_0=2,7 \text{ m/s}$ . Výška dostřiku je paprsku je rovna  $y_0=0,38 \text{ m}$ .

Průměr hadice je volen jako  $D=0,01 \text{ m}$  z čehož pak dostáváme průtočnou plochu  $S=0,0001 \text{ m}^2$ .

Přenásobením průtočné plochy  $S$  počáteční rychlostí  $v_0$  dostáváme návrhový průtok pro čerpadlo  $Q=0,2 \text{ l/s}$ .

Dopravná výška čerpadla  $H_d$  potřebnou pro návrh čerpadla vypočteme dle vzorce 5.1.2.3.

Celkový geodetický spád je roven  $H_g=0,38 \text{ m}$ . Hydrostatický tlak na výtoku s potrubí  $p_b$  je nulový. Hydrostatický tlak na vtoku  $p_a$  je vypočten dle vzorce 5.1.2.4 a je roven  $p_a=0,69 \text{ kPa}$ , kde hloubka vody na vtokem  $h_a = 0,07 \text{ m}$ . Počáteční rychlosti  $v_a$  a  $v_b$  jsou uvedeny v tabulce 5.1.2.14 jako „rychlost proudění“.

Výpočet ztrát třením dle vzorce 5.1.2.6 je uveden v tabulce 5.1.2.14.



Kinematická viskozita	$\nu =$	1,33E-06	m <sup>2</sup> /s
Průtok	$Q =$	0,0002	m <sup>3</sup> /s
Hydraulická drsnost PVC	$\Delta =$	0,001	mm

		<b>Sací potrubí</b>	<b>Výtlačné potrubí</b>
Průměr potrubí	D [mm]	50	10
Délka potrubí	l [m]	0,85	1,08
Hydraulická drsnost / průměr potrubí	$\Delta/D$ [-]	2,00E-05	1,00E-04
Průtočná plocha	$S = \pi \cdot D^2 / 4$ [m <sup>2</sup> ]	0,0020	0,0001
Rychlost proudění	$v = Q/S$ [m/s]	0,11	2,71
Reynoldsovo číslo	$Re = v \cdot D / \nu$ [-]	4 081	20 405
Součinitel ztráty třením	$\lambda$ [-]	0,040	0,024
<b>Ztráta třením</b>	<b>Z<sub>ti</sub> [m]</b>	<b>0,0004</b>	<b>0,973</b>

**Celková ztráta třením  $Z_t = 0,97$  m**

*Tabulka 5.1.2.14: Výpočet ztrát třením - vodotrysk*

Kinematická viskozita  $\nu$  a hydraulická drsnost  $\Delta$  jsou uvažovány stejné jako v případě návrh hlavního čerpadla. Součinitel ztrát třením  $\lambda$  je stejným způsobem odečten z Moodyho diagramu (5.1.2.5). Jednotlivé délky potrubí jsou patrné ve výkresu 1.3.

Pro výpočet místních ztrát bylo opět užito rovnice 5.1.2.7. Jednotlivé použité součinitele a z nich vypočtené ztráty nalezneme v tabulce 5.1.2.15, kde součinitel pro zúžení je odečten z tabulky 5.1.2.8, součinitele pro kolena z tabulky 5.1.2.10, součinitele pro ventil a klapku z tabulky 5.1.2.12 a součinitel pro vtok a výtok z tabulky 5.1.2.11.

Celkové ztráty tedy jsou dle rovnice 5.1.2.5 rovny  $Z = 2,21$  m. Dle vzorce 5.1.2.3 je dále vypočtena dopravní výška  $H_d = 2,90$  m. Vhodné čerpadlo pro tuto výšku a pro průtok  $Q = 0,2$  l/s bylo vybráno pomocí programu PHAN 3. Jde o čerpadlo AQRH/80-1-160-GF-W1 a jeho technický list je uveden v příloze C.

**Výtlačné potrubí**

	Počet	$\zeta$ [-]
Čerpadlo zúžení (10/80)	1	0,36
Kolena 90°	1	1,13
Koleno 45°	1	0,24
Zpětná klapka – otevřená	1	0,56
Výtok	1	1,00

Suma součinitelům místních ztrát	$\Sigma\zeta=$	3,29	-
Místní ztráta na výtlačném potrubí	$Z_{mv}=$	1,24	m

**Sací potrubí – stejné DN jako čerpadlo**

	Počet	$\zeta$ [-]
Ventil – otevřený	1	4,95
Vtok	1	0,50

Suma součinitelům místních ztrát	$\Sigma\zeta=$	5,45	-
Místní ztráta na sacím potrubí	$Z_{ms}=$	0,003	m

$$\text{Celkové místní ztráty} \quad Z_m = Z_{ms} + Z_{mv} = 1,24 \quad m$$

Tabulka 5.1.2.15: Místní ztráty - vodotrysk

Dle rovnice 5.1.2.9 je vypočteno  $NPSH_a$  a je ověřena podmínka 5.1.2.8, pro kterou je  $NPSH_r$  odečteno z technického listu čerpadla v příloze C jako  $NPSH_r=5,96$  m. Hodnoty atmosférického tlaky  $H_A$  a tlaku nasycených vodních par  $h_p$  jsou stejné jako pro hlavní čerpadlo, tedy  $H_A=10,34$  m a  $h_p=0,2$ . Ztráty potrubí byly vypočteny jako  $h_{pv}=0,90$  m (jako součet ztrát třením na sacím potrubí  $Z_{is}=0,895$  m a místních ztrát na sacím potrubí  $Z_{ms}=0,003$  m) a geodetická sací výška  $h_s=-0,55$  m byla odečtena z výkresu 1.3.

$$NPSH_a \text{ se tedy rovná } NPSH_a=10,34-0,24-0,90+0,55=8,65 \text{ m}$$

Podmínka 5.1.2.8 je tedy splněna.

Vtok do sacího potrubí bude osazen roštem, aby nedocházelo k zanesení čerpadla. Voda z vodotrysku bude dopadat na model hořícího domu, který bude umístěna na nerezovém roštu nacházejícím se na vtoku do akumulární nádrže. Také tento rošt bude sloužit jako ochrana před mechanickými nečistotami.

Pro čerpadlo bude vybudována samostatná technologická šachta o rozměrech 0,5x0,75x0,75 m (šířka x délka x výška) z polypropylenu. Šachta bude pochozí.

#### 5.1.2.4 Výpočet průběhu hladiny

Vzhledem k tomu, že sklon a šířka koryta zůstávají po celé délce koryta neměnné, je v celé délce koryta konstantní střední hloubka rovnoměrného proudění tedy 10 cm. Ty tohoto proudění byl určen dle rovnice 5.2.2.5 jako bystrinný. Ztráty vlivem oblouku jsou zanedbány a vliv oblouku na hladinu je započítán jako převýšení hladiny v oblouku dle vzorce 5.1.2.12. Vypočtená převýšení hladin v jednotlivých obloucích očíslovaných po proudu můžeme vidět v tabulce 5.1.2.16. Průběh hladiny můžeme vidět ve výkresu 1.2.

$$\Delta h = \frac{B \cdot v^2}{r \cdot g}$$

Rovnice 5.1.2.12: Převýšení hladin v obloucích [26]

Kde  $\Delta h$  – rozdíl hladin mezi vnějším a vnitřním okrajem [m]

$v$  – rychlost proudění [m/s]

$g$  – gravitační zrychlení [m/s<sup>2</sup>] ( $g=9,81 \text{ m/s}^2$ )

$r$  – poloměr osy oblouku [m]

$B$  – šířka koryta [m]

Pořadí oblouku	Oblouk 1	Oblouk 2	Oblouk 3	Oblouk 4	Oblouk 5
Poloměr oblouku $r$ [m]	4,5	3,5	2,5	1,5	0,875
Šířka koryta $B$ [m]	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Rychlost proudění $v$ [m/s]	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
Převýšení hladiny $\Delta H$ [mm]	2	3	4	7	12

Tabulka 5.1.2.16: Převýšení hladin v obloucích

#### 5.1.3 Zhodnocení varianty 1

Varianta je nenáročná na technologii čištění. Využívá stávající prohlubně a tím snižuje požadavky na dosypání zeminy. Jednotlivé prvky návrhu jsou však koncentrovány do relativně malého prostoru prohlubně a zbytek prostoru zůstává nevyužit. Na druhou stranu to umožňuje využití velké plochy k zatravnění a osazení další vegetací. Přesto koryto není náchylné k zanášení, protože prostor v blízkosti koryta je vydlážděn. Další výhodou je, že koryto nepřerušuje frekventovanou cestičku k budově Fakulty architektury ČVUT.

Hlavní nevýhodou je absence interakce a vzdělávací funkce.

## **5.2 VARIANTA 2: Interaktivní vzdělávací vodní hřiště**

Návrh interaktivního vzdělávací hřiště vychází z faktu, že ČVUT v Praze je zřizovatelem jak mateřské, tak základní školy. Obě tyto instituce se nacházejí poblíž a mohli by tedy hřiště využívat jak ke hrám, tak i pro vzdělávací účely. Při vhodném návrhu herních prvků by hřiště mohlo být využito i pro edukativní účely starších studentů například z řad prvních ročníků Fakulty stavební. Z toho důvody je nutné volit jednotlivé prvky tak, aby byly přínosem jak po herní tak i po vzdělávací stránce. Vzdělávací hodnota by hřišti byla dodána umístěním informačních tabulek podobně, jako tomu je v areálu Gutovka. Namísto informací o možných hrách s dotyčným prvkem by však tabulka obsahovala technické parametry vodního prvku, základní principy jeho fungování a možnosti jeho uplatnění v praxi.

### **5.2.1 Popis návrhu**

Jako vhodné prvky nejen pro hru, tak pro vzdělávání se nabízí Archimédův šroub, vodní trkač, čtyři nejčastější druhy turbín (Peltonova, Francisova, Kaplanova a Bánkiho), nejčastější druhy pohyblivých uzávěrů (stavidlo, klapka, segment, válec), časté druhy provizorního hrazení (hradlový a hradidlový systém provizorního hrazení) a plavební komora s nejčastěji používanými uzávěry (vzpěrná vrata a vrata Čábelkova typu).

Ústředním prvkem bude podobně jako v případě mladoboleslavského Staroměstského náměstí centrální koryto, na němž budou umístěny jednotlivé prvky. Část koryta bude splavitelná tak, aby bylo možné proplout korytem v místě plavební komory pomocí lodičky a názorně tak ukázat funkci plavební komory.

Jezy jsou navrženy tak, aby je návštěvníci mohli sami ovládat. I provizorní hrazení bude zhotoveno tak, aby ho mohl návštěvník sám instalovat či naopak zase odebrat.

Umístěním čerpadel (Archimédův šroub a vodní trkač) dojde k odklonění části vody, která pak však bude následně vrácena zpět do koryta a bude tedy možné aby voda v korytě cirkulovala podobně jako v Mladé Boleslavi.

Pro uskutečnění návrhu bude třeba zasypat prohlubeň, která se v místě nachází. Pro získání dostatečného podélného sklonu koryta bude třeba navržit a vyspádovat svah. Lavičky budou nahrazeny lavičkami novými a celý prostor bude doplněn o novou zeleň.

Značná část prostoru bude zatravněna, avšak prostory okolo herních prvků a přístupové cesty budou vybudovány jako mlatová cesta.

Vše může vidět ve výkresu 2.1.

## 5.2.2 Hydraulický výpočet a návrh jednotlivých vodních prvků

### 5.2.2.1 Návrh koryta

Tvar koryta je obdélníkový o šířce  $b=0,5$  m. Hloubka vody při rovnoměrném proudění v korytě je navržena jako  $y=0,05$  m a průtok  $Q$  je volen jako  $Q=22,0$  l/s. Z těchto výchozích parametrů je vypočten průměrný sklon koryta dle Chézyho rovnice (5.1.2.1). Chézyho rychlostní součinitel lze vypočítat například podle vzorce dle Manninga (5.1.2.2).

Nejprve je tedy vypočítána průtočná plocha  $S=y*b=0,025$  m<sup>2</sup> a omočený obvod  $O=0,6$  m. Dále je vypočten hydraulický poloměr  $R=0,04$  m. Na základě Manningova součinitele drsnosti, který je volen pro beton do kovové formy  $n=0,013$  z tabulky 5.1.2.1, je vypočten Chézyho rychlostní součinitel  $C=45,16$  m<sup>0.5</sup>s<sup>-1</sup>. Po vyjádření sklonu čáry energie  $i$  z Chézyho rovnice (5.2.2.1) dostáváme hodnotu podélného sklonu  $i=1\%$ .

Při takovémto sklonu a umístění 4 stupňů o výšce 0,15 m a jedním o výšce 0,07m je potom celkové převýšení 1,59 m.

Oblouky na trase jsou voleny jako kružnicové bez přechodové části. Mezi kružnicové oblouky jsou vkládány přímé úseky s jednotlivé vodní prvky. Délka koryta je navržena jako  $l=97,0$  m (měřeno v ose koryta).

Hloubka koryta je zvolena dle průběhu hladiny vody v korytě, který můžeme vidět ve výkresu 2.2 jako 0,1 m

### 5.2.2.2 Volba rozměrů jednotlivých prvků

Všechny hradící konstrukce jsou ocelové S235 a mají tloušťku 0,005 m, což je vzhledem k maximální hradící výšce 0,075 m více než dostačující. U hradících konstrukcí běžných velikostí se obvykle tloušťky hradícího plechu pohybují do 1cm. Proto i pro konstrukci řádově 10x menší je tloušťka hradící plechu 0,5 cm více než dostačující. Naopak, ze statického hlediska by mohl být plech mnohem tenčí. Mohl by pak ale být příliš ostrý a mohl by způsobovat poranění návštěvníků.

Hradící konstrukce a vrata plavební komory jsou těsněny pryží.

Tloušťka betonových pilířů a boků koryta je 0,05 m.

### 5.2.2.3 Objekt 1: Válcový jez a Francisova turbína

Jez je umístěn na stupni o výšce 0,15 m. Koryto je zde rozděleno na dvě stejně velké části o velikosti 0,225 m středovým pilířem. V levé části se nachází válcový jez a v pravé části nátok na

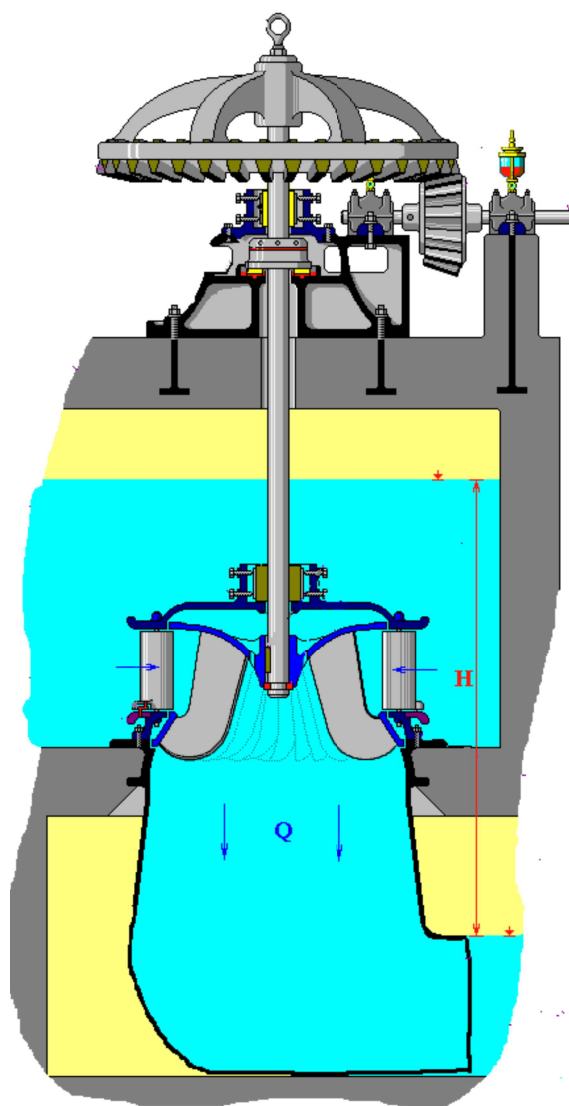


Francisovu turbínu. Pilíře jsou protaženy 0,8 m před stupeň a o 0,4 za stupeň. Celková délka objektu tedy je 1,2 m.

Trouba válcového jezu je navržena o průměru 0,05 m, Na jedné straně je válec osazen Gallovým řetězen, který je upevněn na pastorek, jenž je možné ručně ovládat. V zavřené poloze jezu přepadá voda přes jez. [49]

Část s Francisovou turbínou je zhotovena z průhledného plastu tak, aby bylo možné vidět, jak turbína funguje. Jednotlivé části turbín jsou pro snadnější orientaci barevně odlišeny. Turbína není vzhledem ke svým malým rozměrům a malým průtokům plně funkční a slouží pouze jako maketa demonstrující tvar Francisovy turbíny. Není tedy vhodná k výrobě elektrické energie. Umístění Francisovi turbíny je voleno tak, aby odpovídalo jejímu použití pro střední spády a stabilní průtoky.

Detail objektu můžeme vidět ve výkresu 2.4. Ilustrační obrázek Francisovy turbíny na obrázku 5.2.2.1.



Obrázek 5.2.2.1: Francisova turbína [42]

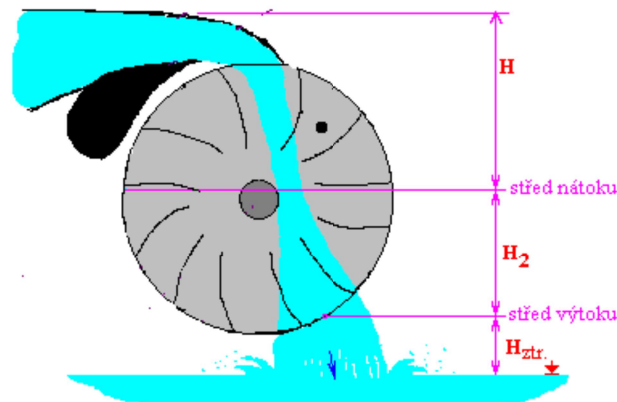
#### 5.2.2.4 Objekt 2: Segmentový jez a Bankiho turbína

Koryto je stejně jako v případě Objektu 1 rozděleno na dvě stejně široké části o velikosti 0,225 m. Pilíře jsou protaženy na obě strany o 0,40 m od stupně a celková délka objektu tedy činí 0,80 m.

Segmentový jez je umístěn v levé části na stupni o výšce 0,15 m. Jedná se o segment s tlačnými rameny umístěnými kolmo na hradici uzavěr a hradici výšce 0,05 m. V uzavřené poloze přepadá přes jez voda. I tento jez je zdvihán za pomoci Gallova řetězu umístěného na pastorek, kterým mohou návštěvníci otáčet. [49]

V pravé části je umístěna Bankiho turbína a stejně tak jako Francisova není plně funkční a slouží pouze k edukativním účelům nikoliv k výrobě elektrické energie. Oblast turbíny je vyvedena z průhledného plastu a jednotlivé části jsou barevně rozlišeny.

Detail objektu můžeme vidět ve výkresu 2.5. Ilustrační obrázek Bankiho turbíny na obrázku 5.2.2.2.



Obrázek 5.2.2.2: Bankiho turbína [43]

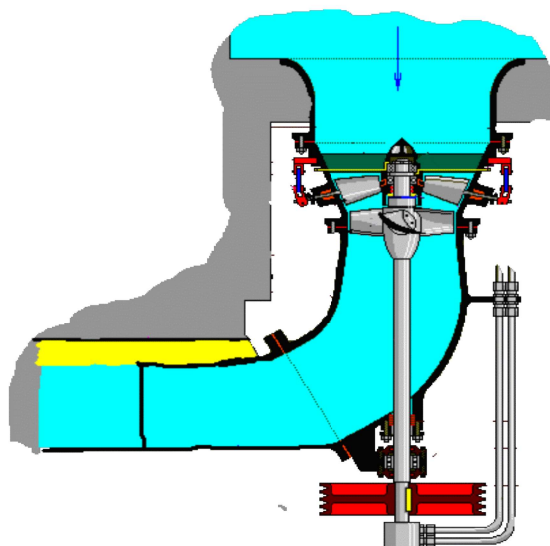
### 5.2.2.5 Objekt 3: Skluz a Kaplanova turbína

Stejně jako v prvních dvou případech je zde koryto rozděleno na dvě části o šířce 0,225 m pilířem. Délka objektu je 0,80 m.

Výška stupně je zde však nižší, a to 0,07 m, a to proto, aby umístění Kaplanovy turbíny odpovídalo jejímu použití pro nižší spády a vyšší průtoky ani tato turbína však není vzhledem k malým rozměrům a tedy velmi nízké účinnosti plně funkční. Stejně jako v předchozích dvou případech je část osazená turbínou provedena z průhledného plastu a části turbíny jsou barevně rozlišeny.

Skluz je navržen v podélném sklonu 1:2. Jeho délka tedy činí 0,14 m.

Detail objektu můžeme vidět ve výkresu 2.6. Ilustrační obrázek Kaplanovy turbíny na obrázku 5.2.2.3.



Obrázek 5.2.2.3: Kaplanova turbína [44]

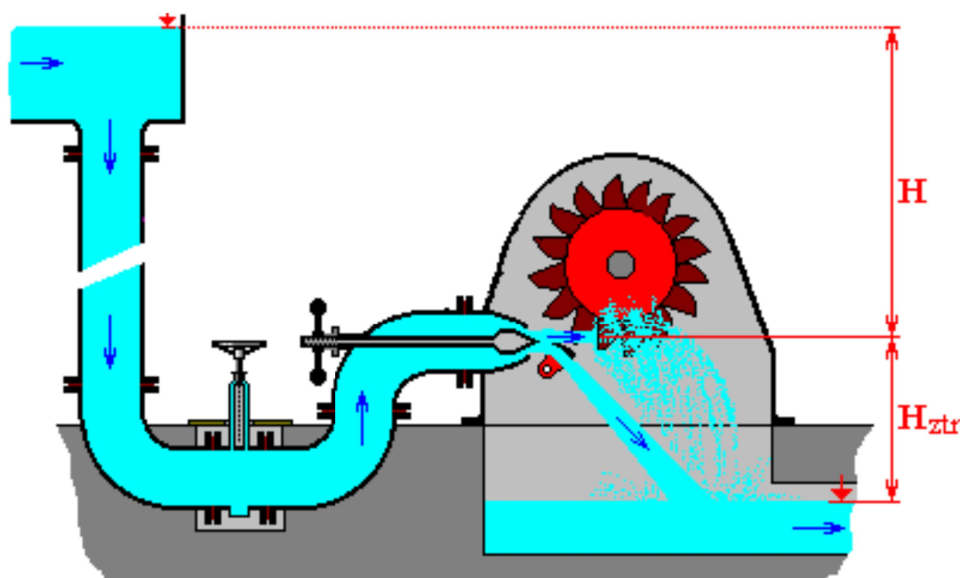
#### 5.2.2.6 Objekt 4: Vodní trkač a Peltonova turbína

Část průtoku je z hlavního koryta odváděna přívodní potrubím o DN 50 a pomocí vodního trkače čerpána do výšky 0,35 m nad koryto. Voda následně odtéká na Peltonovu turbínu a zpět do koryta potrubím DN 4.

Toto umístění Peltonovy turbíny je voleno vzhledem k jejímu použití pro velké spády a malé průtoky. Samotný trkačí ventil je umístěn nad hlavním korytem a ztrátové množství vody z něj je tedy vráceno zpět do koryta. Zatímco trkačí ventil je navržen jeho plně funkční, turbína opět slouží pouze jako model. Podobně jako u předchozích turbín jsou jednotlivé části turbíny barevně rozlišeny a celá turbína je usazena do průhledného plastu. [45]

Detail objektu můžeme vidět ve výkresu 2.7. Ilustrační obrázek Peltonovy turbíny na obrázku 5.2.2.4.





Obrázek 5.2.2.4: Peltonova turbína [46]

#### 5.2.2.7 Objekt 5: Klapkový jez a plavební komora

Klapkový jez o hradící výšce 0,05 m je umístěn na stupni o výšce 0,15 m. Koryto je v tomto místě rozděleno na dvě části. V pravé části o šířce 0,35 m je umístěna klapka, v levé části o šířce 0,1 m je umístěna plavební komora. Tyto dvě části jsou od sebe odděleny pilířem v tloušťce 0,05 m a délce 0,8 m. S klapkou je možné manipulovat pomocí Gallova řetězu na pastorku, kterým může návštěvník otáčet. [49]

Plavební komora je osazena vraty Čábelkova typu na horním zhlaví a vzpěrnými na zhlaví dolním. Plně funkční plavební komora umožňuje proplutí loďek (viz 5.2.2.11). Návštěvník sám reguluje otevření a zavření vrat. Na rozdíl od pohyblivých jezů mají uzávěry jen dvě polohy (otevřeno a zavřeno). Ani jedna vrata nemají pohybovací mechanismus. Návštěvník manipuluje přímo vraty a v krajních polohách je zajišťuje háčky. [47]

Detail objektu můžeme vidět ve výkresu 2.8.

#### 5.2.2.8 Objekt 6: Stavidlový jez a skluz

Koryto je zde rozděleno na dvě části o šířce 0,1 a 0,35 m. Šířku 0,05 m zaujímá pilíř o délce 0,8 m. V užší části je stupeň o výšce 0,15 m zahrazen stavidlem o hradící výšce 0,075 m. Širší část je navržena jako skluz o podélném sklonu 1:2 a umožňuje tak splutí „sportovních“ loďek. Délka tohoto skluzu činí 0,3 m.

Návštěvník může stavidlový jez spouštět a zdvihat pomocí zdvihacího mechanismu. Stavidlový jez je možné shora i zdola provizorně zahradit. Pilíř a stěna koryta mají z toho důvodu drážky pro

umístěný provizorní hradicí konstrukce. V horní vodě je jako provizorní hrazení volen hradidlový systém, v dolní vodě pak systém hradlovým. Návštěvník sám může umístit tyto hradicí konstrukce do toku a následně je opět vyjmout. [49]

Detail objektu můžeme vidět ve výkresu 2.9.

#### **5.2.2.9 Archimédův šroub**

Pomocí Archimédova šroubu o délce 0,75 m a průměru 0,15 m a sklonu 45° může návštěvník sám čerpat vodu do otevřené akumulární nádrže o rozměrech 0,2x0,185x0,05 m (šířka x délka x výška) ve výšce 0,23 m nad korytem. Voda je následně otevřeným korytem o šířce 0,05 svedena zpět do hlavního koryta. [48]

Detail objektu můžeme vidět ve výkresu 2.10.

#### **5.2.2.10 Přístaviště**

Přístaviště nabízí 3 místa pro ukotvení lodě rozdělené lávkami o šířce 0,05 m. Šířka jednoho místa je 0,1 m a délka 0,2 m. Celková délka přístaviště je tedy 0,4 m a šířka 0,2 m. Přístaviště je vybaveno pacholaty pro upevnění loďky. Lávky jsou v místě pod pacholetem podepřeny sloupem.

Detail objektu můžeme vidět ve výkresu 2.11.

#### **5.2.2.11 Loďka**

Plavební komora i skluz jsou navrženy pro dřevěnou loďku o rozměrech 6,4x14,8x2,7 cm (šířka x délka x výška). Použita tedy může být například dřevěná loďka na gumičkový pohon od firmy Vilac či loďka na pohon balónkový od stejné firmy.

Technický list v příloze D.

#### **5.2.2.12 Provizorní hrazení**

Provizorní hrazení je umísťováno do dolní a horní vody stavidlového jezu. Obě hrazení jsou ocelové. V případě, že nejsou umístěny v korytě, jsou hradla a hradidla umístěna v přihrádce u informačních tabulek.

#### **Hradlový systém**

Tento systém se skládá z pouchové tyče o průměru 0,01 m a svislých hradel průřezu 0,005x0,01 m, které se nahoře opírají právě o pouchovou tyč a dole o ozub na dně jezového tělesa. Délka těchto

hradel je 0,13 m. Dohromady je součástí systému 10 hradel. Tento systém je umístěn v horní vodě. [52]

### Hradidlový systém

Jedná o systém podélných nosníků a výšce 0,01 a šířce 0,005. Které jsou umístěny nad sebe do drážek provizorního hrazení v celkovém počtu 7 hradidel. Jejich délka je 0,12 m. Tento systém je umístěn v dolní vodě. [52]

Provizorních hrazení můžeme vidět ve výkresu 2.9.

#### 5.2.2.13 Výpočet průběhu hladin

Pro výpočet průběhu jsou zvoleny dva zatěžovací stavy. První pro případ, kdy jsou jezové uzávěry otevřeny na maximální, zcela nehrazený, průtok a druhý pro případ, kdy jsou jezové uzávěry uzavřeny a maximálně vzdouvají hladinu.

V celém korytu je Manningův součinitel drsnosti uvažován jako  $n=0,013$ . Podélný sklon je, až na skluzy, roven  $i=1\%$ , tak jak je uvedeno v kapitole 5.1.2.1. V místech skluzů je podélný sklon volen 50%.

### Použité rovnice

Pro výpočet průběhu hladin je využita zejména kombinace Bernoulliho rovnice 5.2.2.1 a rovnice sklonu, vyjádřeného z rovnice Chézyho 5.2.2.2 pro výpočet nerovnoměrného ustáleného proudění.

$$i_0 * \Delta L + y_1 + \frac{v_1^2}{2 * g} = y_2 + \frac{v_2^2}{2 * g} + \Delta Z \quad i_0 = \frac{Q^2}{C^2 * S^2 * R}$$

Rovnice 5.2.2.1: Bernoulliho rovnice [26] Rovnice 5.2.2.2: Sklon z Chézyho rovnice [26]

Kde  $i_0$  – podélný sklon [-]

$\Delta L$  – délka úseku [m]

$y_1$  – hloubka vody na začátku úseku [m]

$v_1$  – rychlost proudění na začátku úseku [m/s]

$g$  – gravitační zrychlení [ $\text{m/s}^2$ ] ( $g=9,81 \text{ m/s}^2$ )

$y_2$  – hloubka vody na konci úseku [m]

$v_2$  – rychlost proudění na konci úseku [m/s]

$\Delta Z$  – ztrátová výška [m]

$Q$ – průtok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$S$ – průměrná průtočná plocha úseku [ $\text{m}^2$ ]

$R$ – průměrný hydraulický poloměr [ $\text{m}$ ]

$C$ – průměrný Chézyho rychlostní součinitel [ $\text{m}^{0,5}/\text{s}$ ]

Chézyho rychlostní součinitel lze vypočítat dle rovnice 5.1.2.10. Ztrátovou výšku  $\Delta Z$  vypočteme jako součet ztrát třením  $Z_t$  a  $Z_m$ , ztrát místních, kde ztráty třením vypočteme dle vzorce 5.2.2.3 a ztráty místní vzorcem 5.2.2.4 dle typu ztrát, v našem případě ztrát změnou průřezu  $Z_{zp}$ .

$$Z_t = \frac{Q^2}{C^2 * S^2 * R} * \Delta L$$

$$Z_{zp} = \mp \xi \frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2 * g}$$

Rovnice 5.2.2.3: Ztráty třením v otevřených korytech [26] Rovnice 5.2.2.4: Ztráty změnou průřezu [26]

Kde  $\Delta L$ – délka úseku [ $\text{m}$ ]

$v_1$ – rychlost proudění na začátku úseku [ $\text{m/s}$ ]

$g$ – gravitační zrychlení [ $\text{m/s}^2$ ] ( $g=9,81 \text{ m/s}^2$ )

$y_2$ – hloubka vody na konci úseku [ $\text{m}$ ]

$Q$ – průtok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$S$ – průměrná průtočná plocha úseku [ $\text{m}^2$ ]

$R$ – průměrný hydraulický poloměr [ $\text{m}$ ]

$C$ – průměrný Chézyho rychlostní součinitel [ $\text{m}^{0,5}/\text{s}$ ] dle rovnice 5.1.2.2

$\xi$  – ztrátový součinitel [-]

Pro náhlé rozšíření či zúžení je ztrátový součinitel roven  $\xi=0,5$  až 1. Pro křivky vzduť platí v rovnici (-), pro křivky snížení (+). Součinitel ztrát v oblouku byl, vzhledem k délce a poloměru oblouků, zanedbán. Bylo však počítáno převýšení hladin v oblouku podle rovnice 5.1.2.12, aby nedošlo k vyběžení vody v obloucích. Převýšení hladin v jednotlivých obloucích je uvedeno v tabulce 5.2.2.1. Oblouky jsou v této tabulce číslovány po proudu. [26]

Pořadí oblouku	Obl. 1	Obl. 2	Obl. 3	Obl. 4	Obl. 5	Obl. 6	Obl. 7	Obl. 8	Obl. 9
Poloměr oblouku $r$ [ $\text{m}$ ]	4	4	2,5	2	2	2,5	4	4	3
Šířka koryta $B$ [ $\text{m}$ ]	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Rychlost proudění $v$ [ $\text{m/s}$ ] 1.ZS	0,90	0,90	0,90	0,90	0,86	0,90	1,26	1,52	0,90
Rychlost proudění $v$ [ $\text{m/s}$ ] 2.ZS	0,90	0,90	0,90	0,90	0,86	0,90	1,26	1,07	0,90
Převýšení hladiny $\Delta H$ [ $\text{mm}$ ]	5	5	8	10	9	8	10	15	7
Převýšení hladiny $\Delta H$ [ $\text{mm}$ ]	5	5	8	10	9	8	10	7	7

Tabulka 5.2.2.1: Převýšení hladin v jednotlivých obloucích



Pro určení typu proudění byla určena kritická hloubka  $y_k$  z rovnice 5.2.2.5 ve vše úsecích koryta a to tak, že byla nalezena hloubky vody  $y$ , pro kterou se  $Fr^2=1$ . Je-li hloubka vody v korytě vyšší, jedná se proudění říční, je-li nižší, jedná se o proudění bystrinné. Pro hladinu rovnoměrného proudění  $y=0,05$  m v navrženém korytě pak toto znamená, že převážná část toku bude v bystrinném proudění, protože kritická hloubka pro rovnoměrné proudění v korytě o takovýchto rozměrech je rovna  $y_k=0,06$  m.

$$Fr^2 = \frac{Q^2 * B}{g * (y * B)^3}$$

Rovnice 5.2.2.5: Froudovo číslo [26]

Kde  $Fr$  – Froudovo číslo [-]

$Q$  – průtok [ $m^3/s$ ]

$B$  – šířka koryta [m]

$g$  – gravitační zrychlení [ $m/s^2$ ] ( $g=9,81$   $m/s^2$ )

$y$  – hloubka vody [m]

$$y_c = \frac{q}{\varphi * \sqrt{2 * g * (E)}}$$

Rovnice 5.2.2.6: Hloubka vody pod stupněm [53]

Pro výpočet hloubky vody pod stupni bylo užito rovnice 5.2.2.6.

Kde  $y_c$  – hloubka vodyp od stupněm [m]

$q$  – měrný průtok [ $m^2/s$ ]

$\varphi$  – rychlostní součinitel při dopadu na dno koryta [-]

$g$  – gravitační zrychlení [ $m/s^2$ ] ( $g=9,81$   $m/s^2$ )

$E$  – energetická výška [m]

Energetickou výškou  $E$  lze spočítat jako součet přelivné výšky, výšky stupně a rychlostní výšky nad stupněm. Rychlostní součinitele při dopadu na dno koryta byly odečteny z tabulky 5.2.2.2. [53]

V místech, kde přechází bystrinné proudění v říční a dochází tak k vodnímu skoku, bylo použito rovnice 5.2.2.7 pro výpočet vzájemných hloubek vodního skoku a rovnice 5.2.2.8 pro délku vodního skoku.

Kde  $y_2$  – druhá vzájemná hloubka [m]

$$y_2 = \frac{y_1}{2} * \left( \sqrt{1 + 8 * \left( \frac{y_k}{y_1} \right)^3} - 1 \right)$$

$$L_s = 6 * (y_2 - y_1)$$

Rovnice 5.2.2.8: Délka prostého vodního skoku dle Smetany [53]

Rovnice 5.2.2.7: Vzájemné hloubky vodního skoku [53]

$y_1$  – první vzájemná hloubka [m]

$y_k$  – kritická hloubka [m]

$L_s$  – délka vodního skoku [m]

Tab. 9.1 Rychlostní součinitel  $\gamma$  při dopadu na dno koryta, nebo vývaru.

výtok pod stavidlem do volna	1,0 - 0,97			
výtok pod stavidlem s otvorem u dna dolní nádrže	1,0 - 0,95			
přepad přes stupeň ve dně	1,0			
přepad nebo výtok při nízké pohyblivé hradicí konstrukci na dnovém stupni	1,0 - 0,97			
volný přepad přes jez s proudnicovou přelivnou plochou a hladkým povrchem:				
a/ malá délka přelivné plochy	1,0			
b/ střední délka přelivné plochy / $E \leq 15$ m/	0,95			
c/ velká délka přelivné plochy / $E \leq 25$ m/	0,90			
$E \leq 30$ m	0,85			
$E \leq 50$ m	0,75			
$E \leq 70$ m	0,73			
výtok pod hradicí konstrukcí na koruně vyššího jezu /proudnicová přelivná plocha, hladký povrch/				
a/ malá délka přelivné plochy	0,95			
b/ střední délka přelivné plochy	0,90			
c/ velká délka přelivné plochy	0,85			
přepad přes nízký jez s přelivnou plochou hydraulicky nevýhodnou	0,90 - 0,80			
přepad přes nízký jez se širokou korunou				
a/ vstupní část prahu je dobře zaoblena	0,95			
b/ práh má seříznutou hranu	0,91			
c/ vstupní hrana je ostrá	0,90			
d/ práh má nerovný drsný vstup	0,85			
výtok vody pod segmentem	0,90 - 0,80			
přepad přes segment s nasazenou klapkou	1,0 - 0,90			
výtok pod válcovým uzávěrem	0,95 - 0,90			
přepad přes válcový uzávěr	0,95 - 0,90			
volný přepad přes vysoký jez bez hradicí pohyblivé konstrukce, s hladkou proudnicovou přelivnou plochou s odrazníkem s odrazovou hranou ve výšce k nad srovnávací rovinou				
a/ $E = 25$ m, $k = 0,3.E ; 0,42.E ; 0,52.E$	0,87	0,80	0,72	
b/ 30 m	0,81	0,76	0,68	
c/ 50 m	0,72	0,67	0,60	
d/ 70 m	0,70	0,65	0,58	
předcházející případ s rozražeči na odrazníku	0,73	0,68	0,64	0,68
	0,64	0,61	0,61	0,57
	0,54	0,59	0,55	0,52

Tabulka 5.2.2.2: Rychlostní součinitele při dopadu na dno koryta nebo vývaru [65]

## Průběh hladin

Výpočet byl zahájen na počátku koryta určením rovnoměrného proudění při hloubce vody 49 mm. Vzhledem k tomu, že se jedná o proudění bystrinné, jak bylo určeno výše, byl zvolen postup výpočtu po proudu (dle rovnic 5.2.2.1 a 5.2.2.2). Voda proudí rovnoměrným prouděním až do míst zúžení při objektu 1 (detail objektu ve výkresu 2.4), kde dojde vlivem středového pilíře ke zúžení a rozdělení koryta.

Při prvním zatěžovacím stavu (dále 1.ZS), kdy je válcový jez zcela vytažen, dochází v místě zúžení ke vzduť a voda má v místě stupně 63 mm. Je zde použit součinitel místních ztrát  $\xi=0,5$  m a znaménko (viz rovnice 5.2.2.4). Pro výpočet hloubky vody pod jezem je použito rovnice 5.2.2.6, kde součinitel  $\phi=1$ . Hloubka vody pak činí 22 mm. Jedná se tedy opět o bystrinné proudění a výpočet pokračuje po směru proudění a voda před koncem pilíře dosahuje hloubky 26 mm. Zde se dochází ke spojení koryta s odtokem z turbíny, pro jejíž dimenzování byl využit zjednodušený výpočet výtoku otvorem ve dně (rovnice 5.2.2.9), kde hloubka vody nad otvorem byla určena jako 63 mm. Součinitel výtoku otvorem se rovná  $\mu_v=0,7$  dle tabulky 5.2.2.3 .

$$Q = \mu_v \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

Rovnice 5.2.2.9: Výtok malým otvorem [54]

Kde  $Q$  – průtok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$S$  – plocha otvoru [ $\text{m}^2$ ]

$h$  – hloubka vody [ $\text{m}$ ]

$g$  – gravitační zrychlení [ $\text{m/s}^2$ ] ( $g=9,81 \text{ m/s}^2$ )

$\mu_v$  – součinitel pro výtok otvorem [-]

### . Hodnoty součinitelů pro výtok otvorem.

Průměrné hodnoty: malé ostrohranné otvory, úplné a dokonalé zúžení, kvadratická oblast proudění:

rychlostní součinitel  $\phi = 0,97$

součinitel zúžení  $\varepsilon = 0,6$  až  $0,64$

výtokový součinitel  $\mu_v = 0,6$  až  $0,62$

Pro větší ostrohranné otvory jsou hodnoty výtokových součinitelů udané v následující tabulce.

Typ otvoru	$\mu$
1. velké otvory se zúžením ze všech stran	0,65
2. velké otvory s nedokonalým, ale všestranným zúžením	0,70
3. otvory u dna s podstatným bočním zúžením	0,65 - 0,70
4. otvory u dna s průměrným bočním zúžením	0,70 - 0,75
5. otvory u dna s plynulým usměrněním proudu z boků	0,80 - 0,85

Tabulka 5.2.2.3: Hodnoty součinitelů pro výtok otvorem [14]



Z plochy otvoru byl určen průměr otvoru, do kterého bude turbína osazena jako 0,14 m. Výstupní výška savky byla zvolena tak, aby hloubky v obou částech rozděleného koryta byly stejné a tedy 26 mm.

Při druhém zatěžovacím stavu (dále 2.ZS) je válcový jez ve své nejnižší poloze a voda přes něj přepadá. Vzdouvá tak hladinu do hloubky 71 mm, jak bylo vypočteno z rovnice pro přepad přes jezové těleso 5.2.2.10.

$$Q = \frac{2}{3} * \mu * b * \sqrt{2 * g} * h_0^{\frac{3}{2}}$$

Rovnice 5.2.2.10: Přepad přes jezové těleso [55]

Kde  $Q$  – průtok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$h_0$  – součet výšky přepadu a rychlostní výšky [m]

$b$  – šířka přepadu [m]

$g$  – gravitační zrychlení [ $\text{m}/\text{s}^2$ ] ( $g=9,81 \text{ m}/\text{s}^2$ )

$\mu$  – součinitel přepadu [-]

Pro výpočet součinitele přepadu byl použit vzorec dle Kramera 5.2.2.11.

$$\mu = 1,02 - \frac{1,015}{\frac{h}{r} + 2,08} + [0,04 * (\frac{h}{r} + 0,19)^2 + 0,0223] * \frac{r}{s}$$

Rovnice 5.2.2.11: Součinitel přepadu dle Kramera [55]

Kde  $\mu$  – součinitel přepadu [-]

$h$  – přepadová výška [m]

$r$  – poloměr zaoblení přepadové hrany [m]

$s$  – výška stupně [m]

Výška pod jezem za použití součinitele  $\varphi=0,95$  v rovnici 5.2.2.6 se rovná 19 mm. Před koncem pilíře pak voda dosahuje 24 mm dle rovnice 5.2.2.1 a 5.2.2.2 pro bystřinné proudění.

Nad jezem vzniká proudění říční o hloubce 71 mm. Je zde použit výpočet proti proudu směrem od válcového uzávěru k počátku pilíře. V místě, kde se potkává průběh hladiny vypočítaný po proudu (bystřinné proudění) a proti proudu (říční proudění), vzniká vodní skok o první vzájemné hloubce

61 mm a druhé vzájemné hloubce 64 mm. Vzduť hladiny před a po vodním skoku je vypočteno dle rovnic 5.2.2.1 a 5.2.2.2.

Pro spojení a tedy i rozšíření průtočného průřezu je použit  $\xi=0,5$  a rovnice pro místní ztráty vlivem změny průřezu (5.2.2.4). Následně je s výpočtem pokračováno dále pomocí rovnic 5.2.2.1 a 5.2.2.2. Rovnoměrného proudění je dosaženo ještě před dalším objektem.

Pro 1.ZS v objektu 2 (výkres 2.5) je segmentový jez vytažen a voda proudí přes stupeň, kde dosahuje hloubky 62 mm. Pro výpočet této hloubky jsou použity rovnice pro bystřinné proudění 5.2.2.1, 5.2.2.2 a 5.2.2.4, kde součinitel pro zúžení průřezu  $\xi=0,5$ . Hloubka vody pod jezem je vypočtena dle rovnice 5.2.2.4 s použitím součinitele  $\varphi=1$  a je rovna 22 mm. Pro zjednodušený výpočet rozměru turbíny je použito schématu stupně a hloubky vody nad a pod turbínou jsou tedy stejné. Dle rovnic 5.2.2.1, 5.2.2.2 a 5.2.2.4 použitých po proudu, kde součinitel pro rozšíření průřezu je  $\xi=0,5$ , dosahuje hloubka vody v místě, kde končí pilíř hloubky 26 mm.

Při 2.ZS je jez spuštěn a voda přes něj přepadá. Pomocí iterace bylo určeno množství vody proudící přes jez jako 4,0 l/s a množství vody proudící přes turbínu jako 18,0 l/s. Pro toto množství nad turbínou vzniká hloubka voda 96 mm (dle rovnic 5.2.2.1, 5.2.2.2 proti proudu) a nad jezem pak 90 mm dle rovnice 5.2.2.10, kde byl použit součinitel přepadu  $m$  pro ostrohranný přeliv obdélníkového průřezu Bazinova typu 5.2.2.12

$$m = \left(0,405 + \frac{0,003}{h}\right) * \left[1 + 0,55 * \left(\frac{h}{h+s}\right)^2\right]$$

Rovnice 5.2.2.12: Součinitel přepadu dle Bazina [55]

Kde  $m$  – součinitel přepadu [-]

$h$  – přepadová výška [m]

$s$  – výška stupně [m]

Pro obě ramena koryta tedy bylo použito výpočtu proti proudu pomocí rovnic 5.2.2.1, 5.2.2.2 a hladina na začátku pilíře byla určena jako 86 mm v obou případech. Pro další výpočet proti proudu byl zahrnut součinitel změny průřezu  $\xi=0,5$  v rovnici 5.2.2.4 a hladina proti proudu klesá dál na 69 mm, kde dochází ke vzniku vodního skoku o druhé vzájemné hloubce 69 mm a první vzájemné hloubce 49 mm (dle rovnice 5.2.2.7).

Pro segmentový jez i pro turbínu je použit součinitel  $\varphi=0,9$  v rovnici 5.2.2.6 a vypočtena hloubka vody za stupněm. Pod turbínou je hloubka vody 38 mm a pod jezem 9 mm. Pro spojení proudu je opět využita iterace v rámci bystřinného proudění, tedy po proudu, pomocí rovnic 5.2.2.1, 5.2.2.2 a

5.2.2.4. Součinitel pro rozšíření průřezu je  $\xi=0,5$ . Hloubka vody za spojením je 25 mm. Výpočet tedy pokračuje dále po proudu (rovnice 5.2.2.1, 5.2.2.2) až do míst, kde dosahuje rovnoměrného proudění, což je ještě před dalším objektem.

Objekt 3 nemá pohyblivý uzávěr a má tedy pouze jeden zatěžovací stav, při kterém byla pomocí rovnic 5.2.2.1, 5.2.2.2 a 5.2.2.4 po proudu vypočtena hladina na vrcholku skluzu 62 mm. Použit byl součinitel zúžení  $\xi=0,5$ . Dále byla po proudu vypočtena hladina na konci skluzu 30 mm a na konci pilíře 33 mm, obojí dle rovnic 5.2.2.1, 5.2.2.2. Turbína byla zjednodušeně vypočtena jako výtok malým otvorem dle rovnice 5.2.2.9 se součinitelem  $\mu_v=0,7$  z tabulky 5.2.2.3 a otvor byl tedy navržen o průměru 0,14 m. [14]

Hladina nad otvorem je stejná jako na vrcholku skluzu a tedy 59 mm. Po spojení hladina stoupá v rámci bystrinného proudění k rovnoměrné hloubce hladiny 49 mm, které dosáhne před dalším objektem. Výpočet proveden dle rovnic 5.2.2.1, 5.2.2.2 a 5.2.2.4 se součinitelem  $\xi=0,5$ .

Následuje odběrné potrubí na vodní na objekt 4, které odebírá 4,0 l/s. Voda zde poklesne na 35 mm a následně roste (dle rovnic 5.2.2.1, 5.2.2.2) na 42 mm, což jsou pro tento průtok hloubka rovnoměrného proudění. Po přítoku z objektu 4 opět stoupá na rovnoměrnou hladinu pro průtok 22,0 l/s a to na 49 mm dle rovnic 5.2.2.1, 5.2.2.2. Celý tento úsek je v bystrinném proudění.

V rovnoměrném bystrinném proudění pokračuje až k Archimédovu šroub, kde dochází ke zúžení profilu a tvoří se zde vodní skok s první vzájemnou hloubkou 49 mm a druhou vzájemnou hloubkou 69 mm (rovnice 5.2.2.7). Pro výpočet je uvažován stav, kdy voda není čerpána. Čerpané množství závisí na zručnosti návštěvníka a nelze ho tedy jednoznačně určit. Po rozšíření za Archimédovým šroubem se hladina vzdouvá, jelikož se nacházíme v oblasti říčního proudění. Před přístavištěm dosahuje hloubky 120 mm, kde dochází k rozšíření koryta podle rovnic 5.2.2.1, 5.2.2.2 a 5.2.2.4 se součinitelem  $\xi=0,5$  a hladina tak vzroste na 130 mm. Po opětovném zúžení se součinitelem  $\xi=0,5$ , použitým v rovnici 5.2.2.4, dosazené do rovnic 5.2.2.1, 5.2.2.2, hladina rychle klesá na 21 mm a následně se opět dostává na rovnoměrné proudění 49 mm a pokračuje tak až k dalšímu objektu.

Pro 1.ZS objektu 5 je klapkový jez sklopen a voda protéká přes stupeň v hloubce 49 mm. Pro výpočet pomocí rovnic 5.2.2.1, 5.2.2.2 je ztráta vlivem rozšíření a následného zúžení pro odtok do plavební komory zanedbána, neboť se změna průřezu děje na velmi malé vzdálenosti a vliv na hladinu je tedy minimální. Stejně tak je zanedbána ztráta vlivem změny průřezu za stupněm, kde hloubka vody dle rovnice 5.2.2.6 se součinitelem  $\varphi=1$  je 20 mm. Voda následně dosahuje rovnoměrného proudění ještě před dalším objektem podle výpočty po proudu dle rovnic 5.2.2.1, 5.2.2.2.



Pro 2.ZS je klapkový jez plně vztyčen a přepadá přes něj voda, která je vzduť na 127 mm. Pro výpočet této hloubky byla využita rovnice pro přepad přes jezovou klapku

$$Q = C * b * h_0^{\frac{3}{2}}$$

Rovnice 5.2.2.13: Přepad přes jezovou klapku [55]

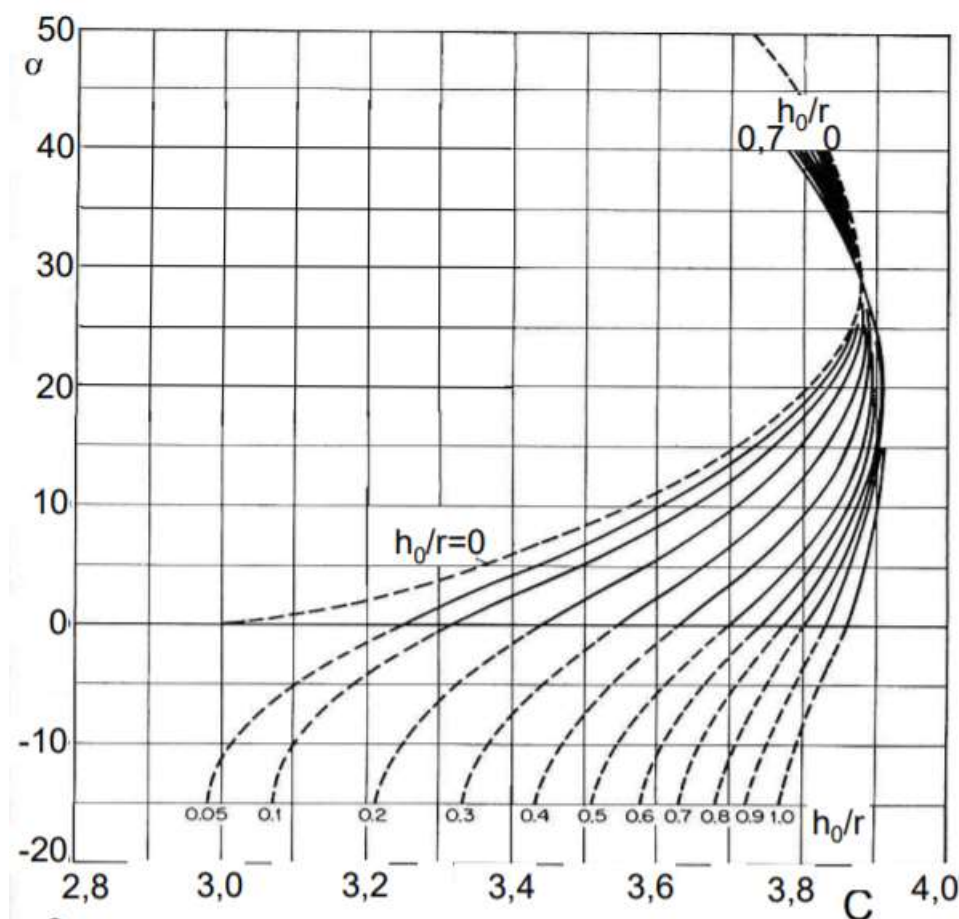
Kde  $Q$  – průtok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$h_0$  – součet přepadové výška a rychlostní výšky [m]

$b$  – délka přepadové hrany [m]

$C$  – součinitel průtoku [-]

Součinitel průtoku lze odečíst z tabulky 5.2.2.4, avšak je třeba jej ještě přenásobit koeficientem 0,552, kterým se součinitel průtoku z US jednotek převede na jednotky SI.



Tabulka 5.2.2.4: Součinitel průtoku pro klapkový jez [55]

Vzniká zde tedy říční proudění a výpočet pomocí rovnic 5.2.2.1, 5.2.2.2 je veden proti proudu až do míst, kde vzniká vodní skok o první vzájemné hloubce 35 mm a druhé vzájemné hloubce 90 mm (podle rovnice 5.2.2.7). Pod jezem vzniká hloubka 21 mm, dle rovnice 5.2.2.6 s použitím

součinitele  $\varphi=0,9$ . Výpočtem dle rovnic 5.2.2.1, 5.2.2.2 byla nalezena rovnoměrná hloubka 49 mm ještě před dalším objektem.

Objekt 6 v 1.ZS má plně otevřený stavidlový jez a voda tedy protéká přes stupeň a přes skluz. V obou případech je hloubka vody nad skluzem či stupněm určena pomocí rovnic 5.2.2.1, 5.2.2.2 a 5.2.2.4 se součinitelem  $\xi=0,5$ . V obou případech dosahuje hloubku 59 mm. Vlivem zúžení se tvoří říční proudění a na přechodu mezi bystřinným a říčním vzniká vodní skok o první vzájemné hloubce 44 mm a druhé vzájemné hloubce 74 mm dle rovnice 5.2.2.7. Přes stupeň proudí 5,0 l/s a přes skluz 17,0 l/s. Pod stupněm tak voda dle rovnice 5.2.2.6 s použitím součinitele  $\varphi=1$  dosahuje hloubky 23 mm. Na úrovni konce skluzu pak dle rovnic 5.2.2.1, 5.2.2.2 27 mm. Skluz na svém konci dosahuje 26 mm a na konci pilíře stejné hloubky 27 mm dle rovnic 5.2.2.1, 5.2.2.2 po proudu. Pro spojení za pilířem je použit součinitel  $\xi=0,5$  a rovnice 5.2.2.1, 5.2.2.2 a 5.2.2.4. Hladina stoupne na hladinu rovnoměrného proudění 49 mm ještě před vtokem do akumulární nádrže.

V 2.ZS je stavidlo ve své nejnižší poloze a voda protéká jen přes skluz. Vlivem zúžení koryta vzniká vodní skok s první vzájemnou hloubkou 49 mm a druhou 69 mm (rovnice 5.2.2.7). Proudění tedy přechází do říčního a výpočet je veden proti proudu od vrcholku skluzu k vodnímu skoku dle rovnic 5.2.2.1, 5.2.2.2 a 5.2.2.4 se součinitelem  $\xi=1$ . Nad skluzem je dosaženo hloubky 71 mm. Vlivem zvýšení sklonu na skluzu hladina opět klesá, výpočet je tedy veden v bystřinném proudění po proudu dle rovnic 5.2.2.1, 5.2.2.2. Hloubka vody pod skluzem je 30 mm, před koncem pilíře 31 mm. Po rozšíření, pro které je použit koeficient  $\xi=0,5$  a rovnice 5.2.2.1, 5.2.2.2 a 5.2.2.4, dosahuje voda rovnoměrné hloubky 49 mm ještě před vtokem do akumulární nádrže.

Průběh hladin je vyznačen v podélném profilu ve výkresu 2.2. Hydraulické výpočty najdeme v příloze E.

#### **5.2.2.14 Návrh technologické části**

Voda na konci koryta odtéká do podzemní akumulární jímky o rozměrech 2,3x1,6x2 m (šířka x délka x výška). Velikost jímky je navržena tak, aby pojmul maximální možný objem vody v korytě a 50% navíc. Hladina stálého nadržení je stanovena na 216,30 m n.m., což činí hloubku vody 0,7m. Jímka je, stejně jako ve variantě 1, vybavena senzorem, který reaguje na množství vody v jímce. Přebytková voda, například s dešťové události, je pak automaticky odváděna do kanalizace, naopak ztráty vody, způsobené návštěvníky či výparem, jsou doplňovány z vodovodního řadu. Nádrž je dále vybavena výpustným potrubím, aby bylo možné nádrž zcela vypustit pro případ opravy, revize či zimní odstávky. Proto je také, jak akumulární jímka tak technologická šachta,

přístupná pomocí vstupního otvoru o rozměrech 700x700 mm přiklopeného pochozím šachtovým poklopem a žebříkem. Vtok do nádrže je osazen roštem pro zachycování hrubých nečistot.

Voda je následně čerpána přes technologická vybavení pro čištění a dezinfekci vody do uklidňovací nádrže o rozměrech 0,5x0,5x0,5 m (šířka x délka x výška) na začátku koryta. Po zklidnění již vytéká na povrch do koryta.

Vzhledem k tomu, že návštěvníci přijdou do přímého kontaktu s vodou, je přistoupeno k preciznějšímu čištění vody než v případě varianty 1. Voda bude čištěna pomocí pískové filtrace a dezinfikována pomocí UV lampy. Dále bude prováděno dávkování chemikálií na úpravu Ph a inhibitorů koroze. Veškeré technologické vybavení bude umístěno v technologické šachtě, která bude stejně jako akumulární jímka vybudována jako vana o tloušťce stěny 300 mm. Do šachty jsou vedeny veškeré přípojky, a to vodovodní, kanalizační a elektrická. Taktéž hlavní čerpadlo je uloženo v této technologické šachtě. [16]

Schéma technologické šachty můžeme vidět v 2.2.

Písková filtrace je volena pro návrhový průtok  $Q=22,0 \text{ l/s} = 80 \text{ m}^3/\text{h}$  a filtrační rychlost pro poloveřejné či málo zatížené bazény  $F=40 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ . Vnitřní průměr filtru tedy odpovídá  $D=1600 \text{ mm}$  za předpokladu filtru kruhového průřezu dle tabulky 5.2.2.5. [17]



Průměr filtrů	Filtrační plocha filtru	Průtoky vody filtrem (m <sup>3</sup> /h)			
(mm)	(m <sup>2</sup> )	při filtrační rychlosti			
		20 m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>	30 m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>	40 m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>	50 m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>
		velmi zatížený veřejný bazén	středně zatížený veřejný bazén	málo zatížený veřejný bazén	všechny soukromé bazény
300	0.0706	1.41	2.12	2.82	3.53
350	0.0961	1.92	2.88	3.84	4.80
400	0.1256	2.52	3.77	5.02	6.28
430	0.1451	2.90	4.35	5.80	7.25
450	0.1589	3.18	4.76	6.35	7.94
480	0.1809	3.62	5.42	7.23	9.04
500	0.1962	3.92	5.88	7.85	9.81
560	0.2461	4.92	7.38	9.84	12.30
600	0.2826	5.65	8.48	11.30	14.13
650	0.3316	6.63	9.95	13.26	16.58
700	0.3846	7.69	11.54	15.38	19.23
750	0.4415	8.83	13.24	17.66	22.07
800	0.5024	10.05	15.07	20.09	25.12
900	0.6358	12.72	19.07	25.43	31.79
950	0.7084	14.17	21.25	28.33	35.42
1000	0.7850	15.70	23.55	31.40	39.25
1050	0.8654	17.31	25.96	34.16	43.27
1200	1.1304	22.61	33.91	45.21	56.52
1250	1.2465	24.93	37.39	49.86	62.32
1400	1.5386	30.77	46.16	61.15	76.93
1600	2.0096	40.19	60.29	80.38	100.48
1800	2.5434	50.87	76.30	101.73	127.17
2000	3.1400	62.80	94.20	125.60	157.00
2350	4.3332	86.66	129.99	173.33	216.66
2500	4.9062	98.12	147.18	196.25	245.31
3000	7.0625	141.25	211.87	282.50	353.31

Tabulka 5.2.2.5: Průměry pískových filtrů a jejich průtoky při různých filtračních rychlostech [17]

Těmto parametrů vyhovuje například vertikální laminátový pískový filtr typu Vesubio 1 m/ 2,5 kg/cm<sup>2</sup> o vnitřním průměru 1600 mm a průtoku 80 m<sup>3</sup>/h, jehož technický list můžeme vidět v příloze F. [57]

Za filtrací budou paralelně vřazeny dvě UV lampy, například typu HYDRO FC-180D, každá o maximálním průtoku 40,8 m<sup>3</sup>/h pro dezinfekci vody. Technický list v příloze G. [58]

Dále je na cirkulačním okruhu řazeno dávkování chemikálií a to přípravků na úpravu pH a inhibitorů koroze. Chemikálie budou dákovány pomocí univerzálního dákovacího zařízení AquaDos Standard (technický list v příloze H). [59]

Sací potrubí z PVC je navrženo tak, aby nebyla překročena rychlost 1,2 m/s a nedocházelo tak k vibracím a tlakovým rázům. Dle tabulky 5.1.2.2 je zvoleno potrubí DN 200. Pro výtlačné potrubí by se rychlost měla pohybovat mezi 1,8 m/s a 2 m/s. Dle tabulky 5.1.2.2 je tedy zvoleno potrubí z PVC o průměru DN 140. Obě potrubí jsou volena z tlakové řady PN 10. [17]

Čerpadlo je navrženo pro potřebný průtok  $Q=22,0$  l/s a dopravní výšku  $H_d$ , která se vypočte dle rovnice 5.1.2.3 Celkový geodetický spád je roven  $H_g=3,36$  m. Obě nádrže jsou uvažovány jako nádrže velké a rychlostní výšky  $v_b$  a  $v_a$  jsou tedy rovny 0. Tlaky v obou nádržích jsou rovny hydrostatickému tlaku dle vzorce 5.1.2.4

Hloubka vody nad vtokem do potrubí  $h_a$ , tedy střední hloubka vody nad výtokem z nádrže, je rovna  $h_a=0,51$  m. Dle vzorce 5.1.2.4 je tedy hydrostatický tlak  $p_a=5,0$  kPa. Hloubka vody nad vtokem do ukladňovací nádrže  $h_b$  je rovna  $h_b=0,38$  m. Hydrostatický tlak  $p_b$  je tedy roven  $p_b=3,73$  kPa.

Ztráty na sacím potrubí  $Z_s$  se stejně jako ztráty na výtlačném potrubí  $Z_v$  rovnají součtu ztrát třením  $Z_t$  a ztrát místních  $Z_m$  na daném potrubí. Ztráty třením byly vypočteny dle vzorce 5.1.2.6. Výpočet jednotlivých veličin je uveden v tabulce 5.2.2.6, stejně tak jako hodnoty návrhových veličiny.

Kinematická viskozita	$\nu = 1,33E-06$ m <sup>2</sup> /s
Průtok	$Q = 0,022$ m <sup>3</sup> /s
Hydraulická drsnost PVC	$\Delta = 0,001$ mm

#### Ztráty třením

		Výtlačné potrubí		Sací potrubí
Průměr potrubí	D [mm]	140	80	200
Délka potrubí	l [m]	41,73	1,25	0,85
Hydraulická drsnost / průměr potrubí	$\Delta/D$ [-]	7,14E-06	1,25E-05	5,00E-06
Průtočná plocha	$S=\pi \cdot DN^2/4$ [m <sup>2</sup> ]	0,02	0,01	0,03
Rychlost proudění	$v=Q/S$ [m/s]	1,43	4,37	0,70
Reynoldsovo číslo	$Re=v \cdot D/\nu$ [-]	150 068	262 620	105 048
Součinitel ztráty třením	$\lambda$ [-]	0,0180	0,0190	0,0170
<b>Ztráta třením</b>	<b><math>Z_{ti}</math> [m]</b>	<b>0,556</b>	<b>0,288</b>	<b>0,002</b>

**Celková ztráta třením  $Z_t = 0,85$  m**

Tabulka 5.2.2.6: Výpočet ztrát třením

Kinematická viskozita vody  $\nu$  je uvažována při průměrné roční teplotě 9,5°C dle tabulky 5.1.2.4. Součinitel ztrát třením  $\lambda$  byl odečten z Moodyho diagramu (5.1.2.5) dle hodnoty Reynoldsova čísla  $Re$  a poměru  $\Delta/D$ . Hydraulická drsnost  $\Delta$  pro PVC byla určena z tabulky 5.1.2.6. [66]

Pro výpočet místních ztrát  $Z_m$  byl použit vzorec 5.1.2.7. Hodnoty jednotlivých použitých součinitelů a z nich vypočtené ztráty  $Z_m$  jsou uvedeny v tabulce 5.2.2.7.

#### Výtlačné potrubí

	Počet	$\zeta$ [-]
Čerpadlo rozšíření (80/140)	1	5,47
UV lampy – zúžení (140/80)	1	0,30
UV lampy – rozšíření (80/140)	1	5,47
Rozdvojení	1	4,30
Spojení	1	5,00
Dávkovač – spojení (140/6)	1	0,00
Impulzivní vodoměr	1	0,00
Koleno 90°	9	1,13
Koleno 45°	1	0,24
Ventil – otevřený	3	4,95
Zpětná klapka – otevřená	4	0,56
Výtok	1	0,00

Suma součinitelů místních ztrát	$\Sigma\zeta =$	48,03	-
Místní ztráta na pískovém filtru	$Z_{mf} =$	4,80	m
Místní ztráta na výtlačném potrubí	$Z_{mv} =$	9,78	m

#### Sací potrubí

	Počet	$\zeta$ [-]
Vtok	1	0,50
Ventil – otevřený	1	4,95
Kolena 90°	1	1,13
Čerpadlo zúžení (200/80)	1	0,27

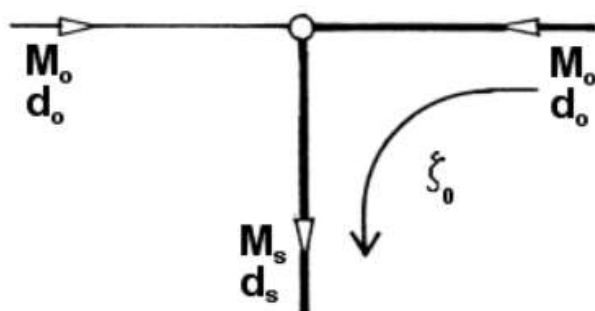
Suma součinitelů místních ztrát	$\Sigma\zeta =$	6,85	-
Místní ztráta na sacím potrubí	$Z_{ms} =$	0,17	m

$$\mathbf{Z_m = Z_{ms} + Z_{mv} = 9,95 \quad m}$$

Tabulka 5.2.2.7: Výpočet místních ztrát

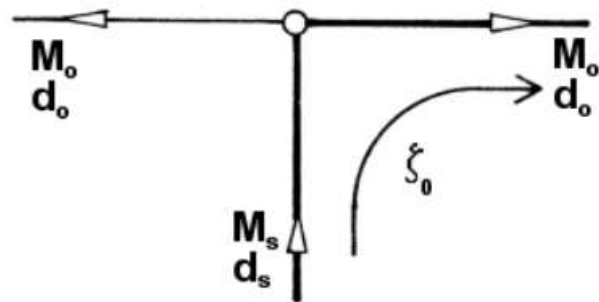
Součinitele pro zúžení a rozšíření jsou odečteny z tabulek 5.1.2.8 a 5.1.2.9. Součinitel pro kolena z tabulky 5.1.2.10. Součinitel pro vtok a výtok z tabulky 5.1.2.11. Součinitel pro ventily a klapky z tabulky 5.1.2.12. Součinitele pro spojení a rozdvojení pak z tabulek 5.2.2.8 a 5.2.2.9. Místní ztráta na pískovém filtru je odečtena z tabulky 5.2.2.10.





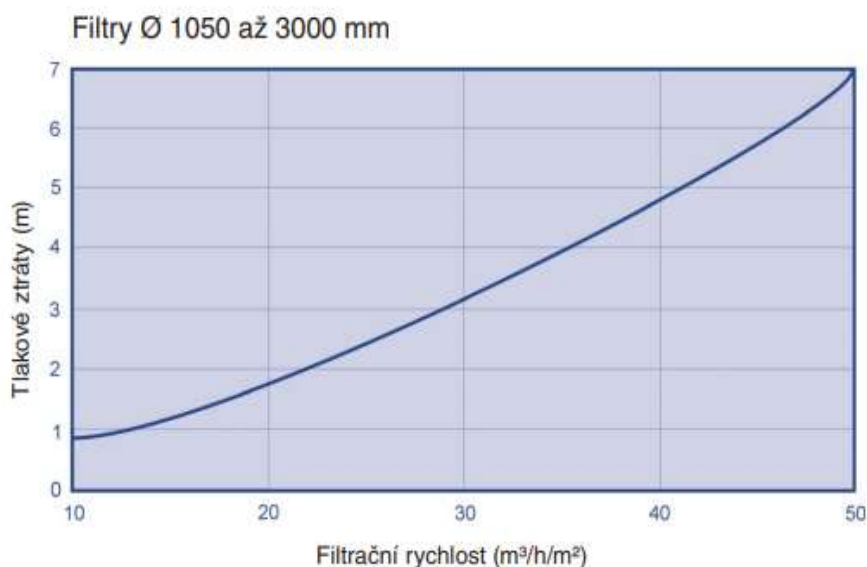
d <sub>0</sub> /d <sub>s</sub> [-]	M <sub>0</sub> /M <sub>s</sub> [-]									
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
	ζ <sub>0</sub>									
1,00	173,0	38,0	15,0	8,0	5,0	3,6	2,8	2,4	2,1	2,0
0,90	138,6	29,4	11,4	5,9	3,6	2,6	2,1	1,8	1,7	
0,80	114,0	23,2	8,7	4,3	2,6	1,9	1,6	1,5	1,4	
0,71	98,4	19,4	6,9	3,3	2,0	1,5	1,3	1,2		1,3
0,63	88,8	16,9	5,9	2,7	1,6	1,2	1,1			1,2
0,56	82,8	15,5	5,2	2,4	1,4	1,1	1,0			1,1
0,50	79,3	14,6	4,8	2,1	1,3	1,0	0,9		1,0	
0,45	77,1	14,0	4,6	2,0	1,2	0,9	0,8	0,9	1,0	
0,40	75,6	13,6	4,4	1,9	1,1	0,8		0,9		1,0
0,36	74,7	13,4	4,3	1,9	1,1	0,8			0,9	1,0
0,32	74,0	13,3	4,2	1,8	1,0	0,8			0,9	1,0

Tabulka 5.2.2.8: Spojení potrubí [21]



d <sub>0</sub> /d <sub>s</sub> [-]	M <sub>0</sub> /M <sub>s</sub> [-]									
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
	ζ <sub>0</sub>									
1,00	100,3	25,3	11,4	6,6	4,3	3,1	2,3	1,9	1,5	1,3
0,90	65,9	16,7	7,6	4,4	2,9	2,1	1,6	1,3	1,1	1,0
0,80	41,3	10,5	4,9	2,9	1,9	1,4	1,1	0,9	0,8	0,7
0,71	25,7	6,7	3,1	1,9	1,3	1,0	0,8	0,7	0,6	
0,63	16,1	4,2	2,1	1,3	0,9	0,7	0,6	0,5		
0,56	10,1	2,8	1,4	0,9	0,7	0,6	0,5		0,4	
0,50	6,6	1,9	1,0	0,7	0,6	0,5	0,4			
0,45	4,4	1,3	0,8	0,6	0,5	0,4				0,3
0,40	2,9	0,9	0,6	0,5	0,4			0,3		
0,36	2,0	0,7	0,5	0,4		0,3				
0,32	1,3	0,6	0,4		0,3					

Tabulka 5.2.2.9: Rozdělení potrubí [21]



Tabulka 5.2.2.10: Tlakové ztráty velkých pískových filtrů [22]

Celkové ztráty se tedy dle vzorce 5.1.2.5 rovnají  $Z=10,79$  m a dopravní výška je pak dle vzorce 5.1.2.3 rovna  $H_d=13,64$  m.

Optimální čerpadlo pro průtok  $Q=22,0$  l/s a dopravní výšku  $H_d=13,64$  m bylo vybráno za pomoci programu PHAN 3. Jedná se o čerpadlo UNIBLOCK – D 80-255/0554D-W1/1. Jeho technický list nalezneme v příloze H.

Dle rovnice 5.1.2.9 je vypočteno  $\text{NPSH}_a$  a je ověřena podmínka 5.1.2.8, pro kterou je  $\text{NPSH}_r$  odečteno z technického listu čerpadla v příloze H jako  $\text{NPSH}_r=1,58$  m. Hodnoty atmosférického tlaku  $H_A$  a tlaku nasycených vodních par  $h_p$  jsou stejné jako pro hlavní čerpadlo ve variantě 1 tedy  $H_A=10,34$  m a  $h_p=0,2$ . Ztráty potrubí bylo vypočteny jako  $h_{pv}=0,17$  m (jako součet ztrát třením na sacím potrubí  $Z_{ts}=0,002$  m a místních ztrát na sacím potrubí  $Z_{ms}=0,17$  m) a geodetická sací výška  $h_s=0,51$  m byla odečtena z výkresu 1.3.

$\text{NPSH}_a$  se tedy rovná  $\text{NPSH}_a=10,34-0,24-0,17-0,51=9,42$  m

Podmínka 5.1.2.8 je tedy splněna.

### 5.2.3 Zhodnocení varianty 2

Varianta 2 rovnoměrně zaujímá celý prostor, jehož velká část je zatravněna, a cesty jsou zhotoveny z materiálu, který nebrání vsakování srážek. Nevýhodou těchto cest je fakt, že přispívají k zanášení koryta.

K vybudování potřebného sklonu je zapotřebí většího množství zemních prací a především většího množství materiálu. To je však vyváжено vysokou vzdělávací hodnotou a interaktivitou této varianty.

### **5.3 VARIANTA 3: Vodní tok s technickými prvky**

Toto řešení přiblíží veřejnosti fungování systému zásobování pitnou vodou a likvidace odpadních vod od začátku až do konce a zároveň oživí prostor před budovou Fakulty stavební ČVUT v Praze o vodní prvky.

#### **5.3.1 Popis návrhu**

Ústředním prvkem tohoto řešení bude koryto vycházející z vodní nádrže a protékající celým systémem. V nádrži bude umístěn odběrný objekt pitné vody a z něj bude voda vedena čirým, světle hnědým, potrubím na úpravnu pitné vody. Z úpravně bude voda čerpána do vodojemu zcela čirým potrubím a z něj následně distribuována do vodovodní sítě a k jednotlivým spotřebitelům také čirým potrubím. V místech spotřebitelů dojde ke změně barvy potrubí na průhledné avšak hnědé symbolizující znečištění vody. Voda bude dále vedena kanalizací na čistírnu odpadních vod, odkud bude vedena opět potrubím lehce nahnědlým a vypuštěna zpět do koryta. Voda z koryta bude následně čerpána zpět do nádrže.

Pouze vodní nádrž, vodojem a koryto budou vyvedeny trojrozměrně. U zbylých objektů (úpravna pitné vody, čistírna odpadních vod a spotřebitelé) budou zobrazeny na zemi pouze jejich půdorysy v podobě stavebních výkresů. Veškeré potrubí, jak pro „odpadní“ tak pro „pitnou“ vodu, bude vedeno těsně pod povrchem a bude z průhledného pochozího materiálu. Vznikne tak zajímavá dlažba protkaná průhlednými potrubími různé barvy.

Samotná dlažba bude provedena jako velkoformátová betonová dlažba. Koryto bude vybudováno ze stejné dlažby, tak aby koryto co nejvíce korespondovalo s okolím. Více tak vyniknou jednotlivá potrubí.

Pro vytvoření dostatečného převýšení bude zapotřebí terénních úprav, při kterých dojde k odstranění prohlubně a navržení další zeminy do požadovaného tvaru tří rozsáhlých plošin, oddělených vždy dvěma stupni o výšce jedno stupně 0,25 m.

Prostor bude doplněn o lavičky, zeleň a mostky přes koryto, aby se koryto nestalo překážkou.

Vše můžeme vidět ve výkrese 3.1.

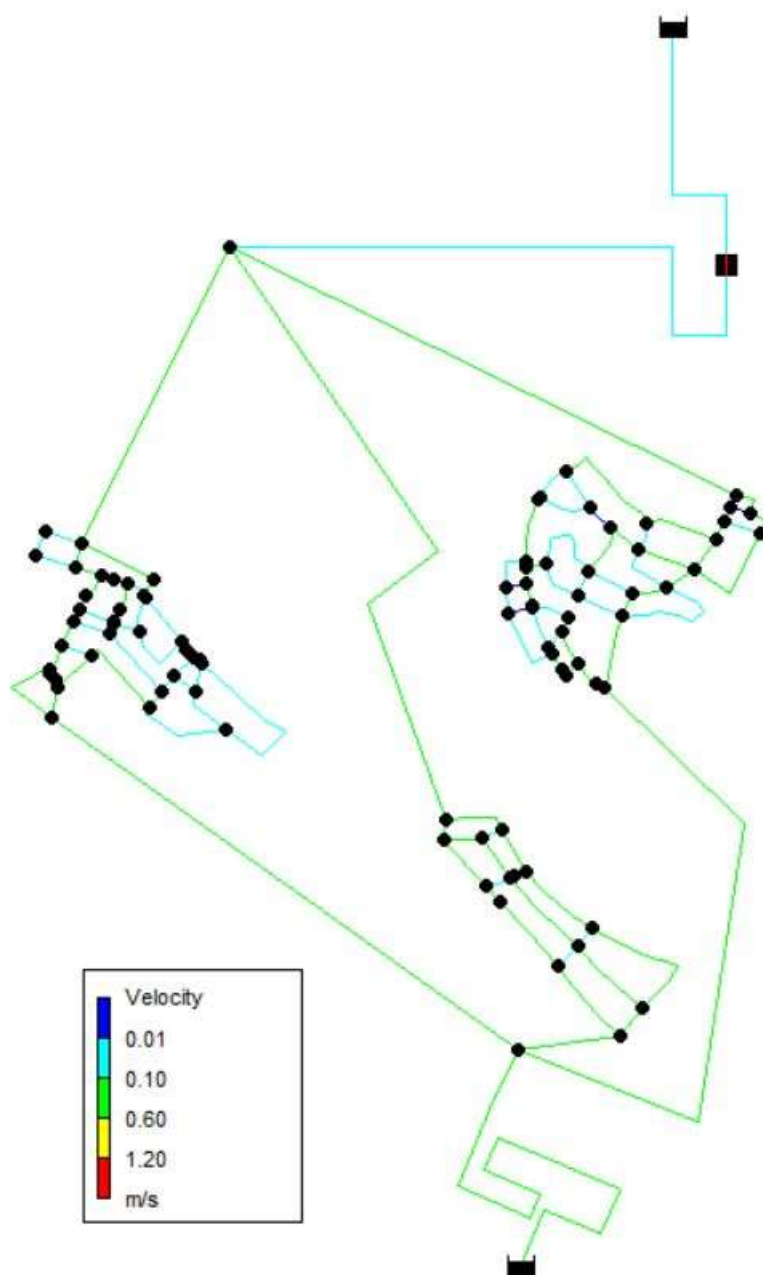


### **5.3.2      Hydraulický výpočet a návrh jednotlivých vodních prvků**

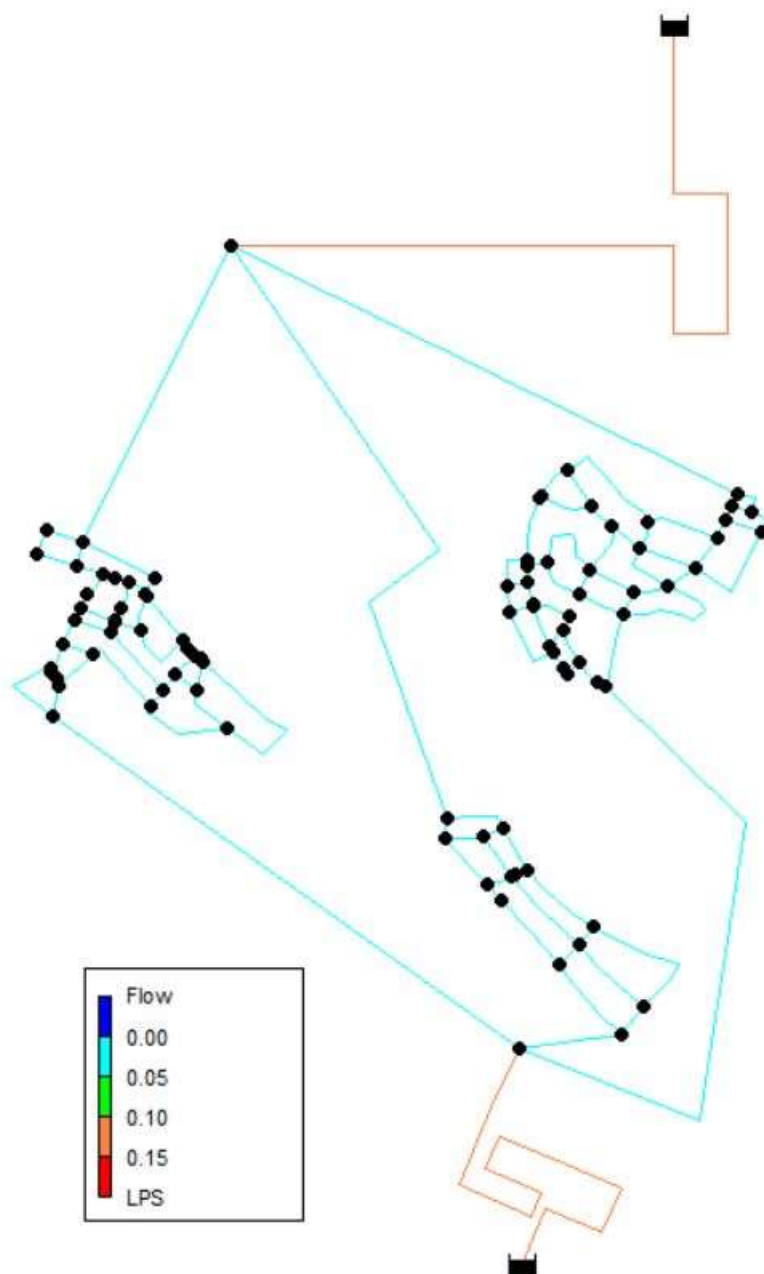
#### **5.3.2.1      Potrubní síť**

Jednotlivá potrubí byla dimenzována pomocí programu EPANET. Na obrázcích 5.3.2.1 a 5.3.2.2 můžeme vidět, v jakých intervalech se pohybují rychlosti a průtoky v potrubí. Přesné hodnoty těchto veličin nalezneme v příloze I, stejně tak jako délku jednotlivých potrubích, identifikační číslo jejich počátečního a koncového uzlu a jednotkové ztráty.

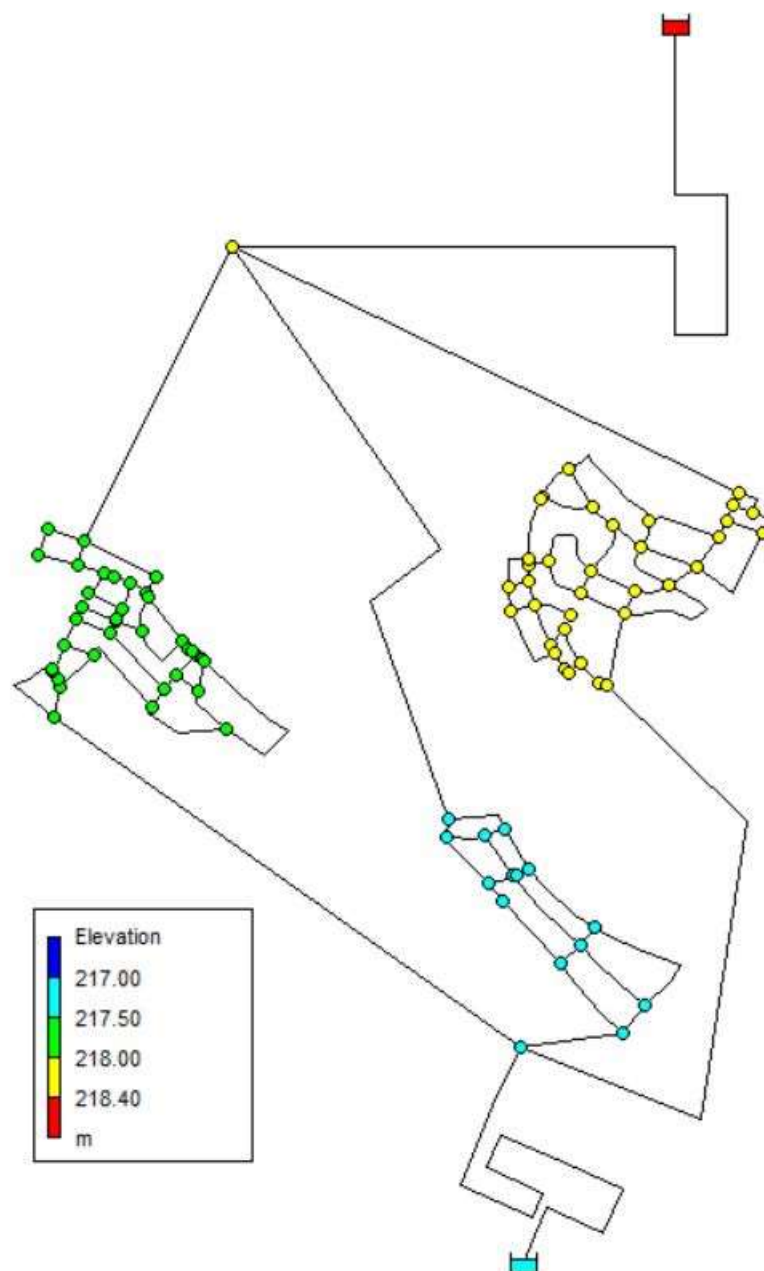
Na obrázcích 5.3.2.3 a 5.3.2.4 vidíme nadmořské výšky jednotlivých uzlů a intervaly tlaků. Přesné hodnoty nalezneme v příloze J.



Obrázek 5.3.2.1: Rychlosti v jednotlivých potrubí



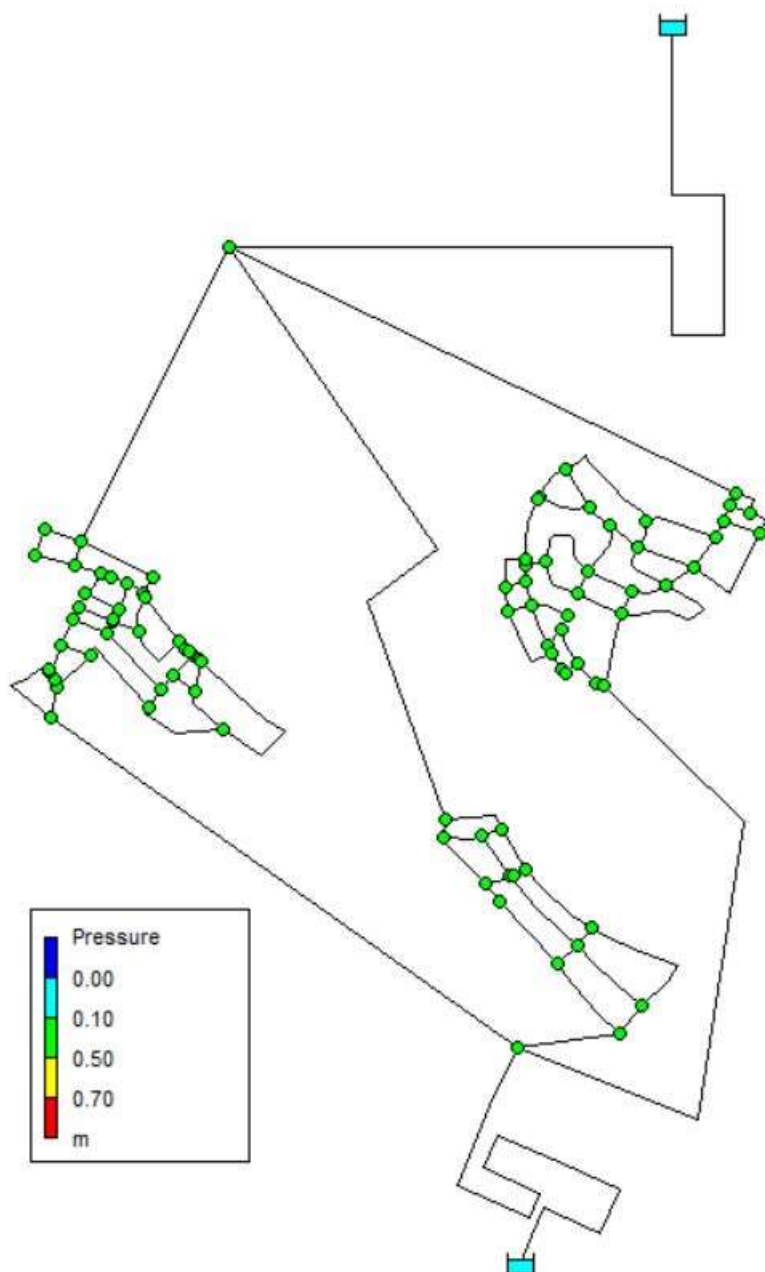
Obrázek 5.3.2.2: Průtoky v jednotlivých potrubích



Obrázek 5.3.2.3: Nadmořské výšky v jednotlivých uzlech

Celkový průtok, tedy průtok, který odtéká z nádrže je dle výpočtu provedeného pomocí programu EPANET  $Q_I=0,1$  l/s. Pro výpočet je uvažován Manningův součinitel drsnosti  $n=0,01$  jako pro PVC (tabulka 5.1.2.6). Z tohoto materiálu také potrubí bude zhotoveno. Pro výpočet používá program





Obrázek 5.3.2.4: Tlaky v jednotlivých uzlech

kruhový průřez potrubí. Pro tuto variantu je však vhodnější volit potrubí čtvercového průřezu, aby bylo možné potrubí snáze zasadit do dlažby. Proto byl použit přepočít z kruhového na čtvercový průřez podle vzorce 5.3.2.1.

$$D = D_h = \frac{4 \cdot S}{O}$$

Rovnice 5.3.2.1: Fiktivní hydraulický průměr [60]

Kde  $D$  – průměr kruhového potrubí [m]

$D_h$  – fiktivní hydraulický průměr [m]

$S$  – průtočná plocha [m<sup>2</sup>]

$O$  – omočený obvod [m]

Je uvažován čtvercový průřez o straně  $a$ . Průtočná plocha tedy odpovídá  $S=a^2$  a omočený obvod  $O=4*a$ . Po dosazení do rovnice 5.3.2.1 tedy získáváme vztah  $D=a$ . Průměr jednotlivých potrubí tedy odpovídá jejich jedné straně čtvercového průřezu.

Dimenze jednotlivých potrubí a jejich délky spolu s jejich barevnými variantami můžeme vidět v tabulce 5.3.2.1. Na obrázku 5.3.2.5 je pak vidět umístění jednotlivých dimenzí potrubí.

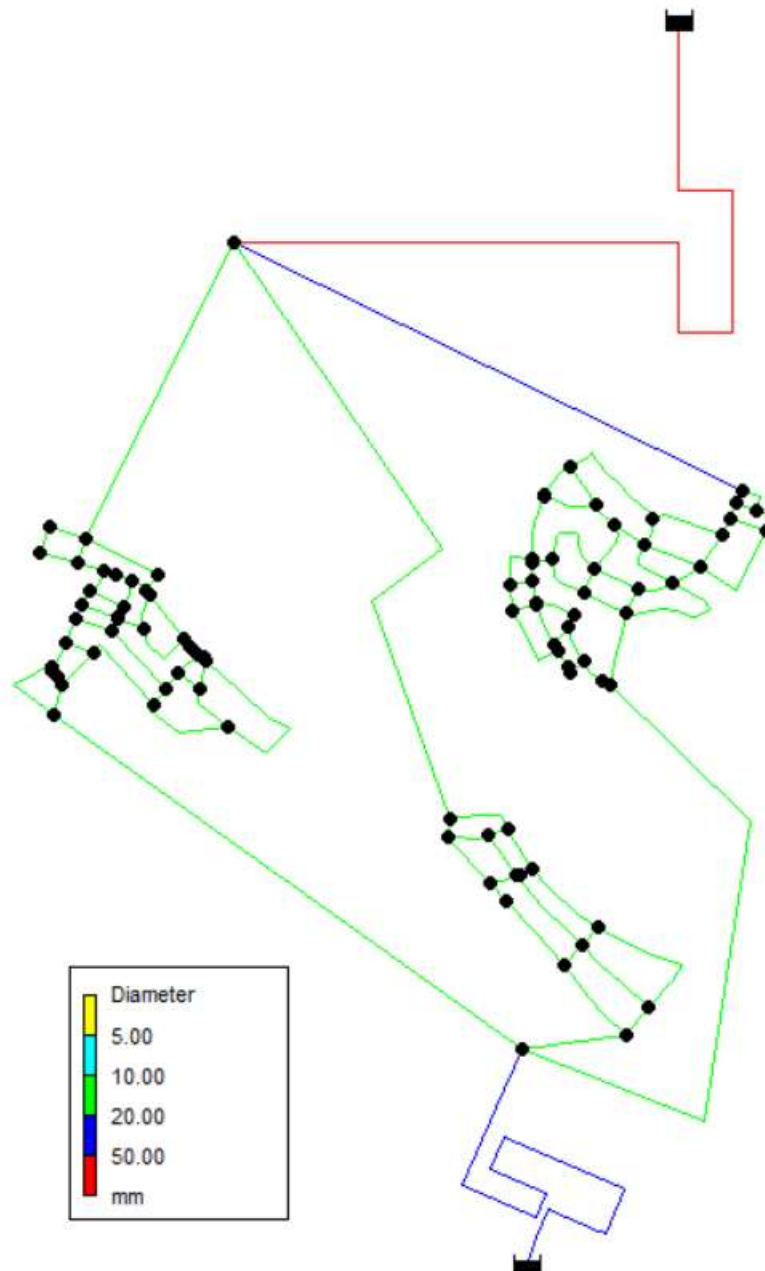
<b>DN=D<sub>h</sub> [mm]</b>	<b>Barevná varianta</b>	<b>Délka [m]</b>
10	čiré	150,17
10	hnědé	52,55
Celkem		202,72

20	čiré	16,01
20	hnědé	17,12
20	světle hnědé	1,50
Celkem		34,63

50	světle hnědé	15,02
50	čiré	11,83
Celkem		26,85

*Tabulka 5.3.2.1: Délky jednotlivých druhů potrubí*

V místech, kde se potrubí kříží s korytem, bude potrubí vedeno ve dně koryta a bude tak chráněno před případným poškozením.



Obrázek 5.3.2.5: Dimenze jednotlivých potrubí

### 5.3.2.2 Návrh koryta

Tvar koryta je obdélníkový o šířce  $b=0,5$  m. Podélný sklon je určen z délky koryta  $l=65,00$  m a převýšení z sníženého o výšku dvou stupňů každého o výšce  $s=0,25$  m a tedy  $z=0,75$  m a pak  $i=1,2\%$ . Mannigův součinitel drsnosti je volen jako střední hodnota pro dlažby s vylitím spar cementovou maltou  $n=0,025$ . Návrhový průtok je  $Q_2=21,0$  l/s. Tomu dle Chézyho rovnice 5.1.2.1 s Chézyho rychlostním součinitelem 5.1.2.2 odpovídá hloubka vody  $y=0,071$  m. Dalších 0,009 m je přičteno jako bezpečnostní převýšení a minimální hloubka koryta je tedy 0,08 m. Omočený obvod  $O=0,70$  m, průtočná plocha  $S=0,04$  m<sup>2</sup>, Chézyho rychlostní součinitel  $C=24,33$  m<sup>0,5</sup>s<sup>-1</sup> a rychlost proudění  $v=0,59$  m/s. [14]

Ani po přítoku vody z potrubní sítě koryta nedojde k vyběžení jelikož hloubka rovnoměrného proudění pro celkový průtok  $Q=22$  l/s je dle stejných rovnic rovna  $y=0,073$  m.

### 5.3.2.3 Nádrž s odběrným objektem a vodojem

Nádrž představuje zdroj pitné vody s jejím odběrným objektem. Bude vytvořena jako betonová prohlubeň o kruhovém půdorysu se svislými břehy. Na jedné její straně bude vybudována betonová tížná přehrada o výšce 0,5 m s přímým bezpečnostním přelivem. Bezpečnostní přeliv plní však pouze funkci dekorativní, a nikoliv bezpečnostní. Ta není vzhledem k malým rozměrům stavby zapotřebí.

Přehrada je vybavena funkční spodní výpustí o DN 65, jejíž dimenze byla vypočtena dle vzorce 5.2.2.9 pro výtok malým otvorem z velké nádrže, kde byl použit součinitel  $\mu_v=0,6$  dle tabulky 5.2.2.3. Výchozí pro tento výpočet byl návrhový průtok  $Q_2=21,0$  l/s.

Průtok  $Q_1=0,1$  l/s odtéká potrubím DN 50 do potrubní sítě. Velikost tohoto otvoru byla určena pomocí programu EPANET.

Po dně nádrže je rozváděna voda perforovaným potrubím z akumulární jímky o celkovém průtoku  $Q=22,0$  l/s.

Nádrž je dále vybavena nefunkční maketou věžového odběrného objektu. Také vodojem je pouze nefunkční maketa. Pro systém potrubí není funkčního vodojemu ani odběrného objektu třeba.

Celý systém funguje gravitačně.

Detail nádrže můžeme vidět ve výkrese 3.4. Detail vodojemu ve výkresu 3.5.

### 5.3.2.4 Návrh technologické části

Technologická část varianty 3 bude téměř totožná s variantou 1.

Voda na konci odtéká do podzemní akumulární jímky o velikosti  $5,7$  m<sup>3</sup> a rozměrech  $1,7 \times 2,6 \times 1,9$  m (šířka x délka x výška). Pojme tak maximální možný objem vody v korytě navýšený o 50%.

Hladina stálého nadržení je stanovena na 215,30 m n. m., což činí hloubku vody v nádrži 0,6 m.

Akumulární jímka bude budována jako vana o tloušťce stěny 300 mm a bude osazena senzorem, který reaguje na množství vody v jímce. Úbytek vody odparem a smáčením bude automaticky doplňován z vodovodního řadu. Stejně tak bude automaticky odváděna přebytečná voda do kanalizace, která se do systému dostala například během srážkové události. Nádrž je dále vybavena výpustným potrubím s uzávěrem pro potřebu celkového vypuštění nádrže pro revize, opravy či zimní odstávku.



Na vtoku je jímka osazena nerezovým roštem pro zachycení nečistot.

Jak akumulární jímka tak technologická šachta je vybavena vstupním otvorem o rozměrech 700x700 mm, přiklopeným pochozím šachtovým poklopem, a žebříkem. Je tak umožněn vstup pro údržbu, revize či opravy. Z jímky je voda čerpána přes filtr do nádrže, která slouží uklidňovací nádrž a zároveň představuje zásobárnu pitné vody.

Na dně jímky je umístěno perforované potrubí stejného rozměru jako potrubí výtlačné, jež přivádí vodu do této nádrže. Voda je tak rovnoměrně rozváděna po nádrži a následně odtéká spodní výpustí do koryta.

Vzhledem k tomu, že zdrojem vody je vodovodní řad a že se nepředpokládá aktivní kontakt návštěvníků s vodou, bude voda čištěna stejně jako ve variantě 1 pomocí bubnového filtru. Pro průtok  $Q=22,0$  l/s, který je stejný jako ve variantě 1, je vhodné použít stejný bubnový filtr jako pro variantu 1, tedy AEM D – 100, jehož technický list nalezneme v příloze A. Místní ztráty na tomto filtru jsou dle údajů telefonicky poskytnutých prodejcem Star-fish jezírka s.r.o. minimální. Do výpočtu jsou tedy zahrnuty jako 10% celkových ztrát. [24]

Sací potrubí je navrženo tak, aby nebyla překročena rychlost 1,2 m/s a nedocházelo tak k vibracím a tlakovým rázům. Dle tabulky 5.1.2.2 je zvoleno potrubí z PVC o průměru DN 200. Pro výtlačné potrubí by se rychlost měla pohybovat mezi 1,8 m/s a 2 m/s. Dle tabulky 5.1.2.2 je tedy zvoleno potrubí z PVC o průměru DN 140. Obě potrubí jsou volena z tlakové řady PN 10. [17]

Čerpadlo je navrženo pro potřebný průtok  $Q=22,0$  l/s a dopravní výšku  $H_d$ , která se vypočte dle rovnice 5.1.2.3.

Celkový geodetický spád je roven  $H_g=3,30$  m. Obě nádrže jsou uvažovány jako nádrže velké a rychlostní výšky  $v_b$  a  $v_a$  jsou tedy rovny 0. Tlaky v obou nádržích jsou rovny hydrostatickému tlaku dle vzorce 5.1.2.4.

Hloubka vody nad vtokem do potrubí  $h_a$ , tedy střední hloubka vody nad výtokem z nádrže, je rovna  $h_a=0,71$  m. Dle vzorce 5.1.2.4 je tedy hydrostatický tlak  $p_a=6,97$  kPa. Hloubka vody nad vtokem do uklidňovací nádrže  $h_b$  je rovna  $h_b=0,33$  m. Hydrostatický tlak  $p_b$  je tedy roven  $p_b=3,24$  kPa.

Ztráty na sacím potrubí  $Z_s$  se stejně jako ztráty na výtlačném potrubí  $Z_v$  rovnají součtu ztrát třením  $Z_t$  a ztrát místních  $Z_m$  na daném potrubí a tedy celkové ztráty se rovnají součtu celkových místních ztrát a celkových ztrát třením (rovnice 5.1.2.5). Ztráty třením byly vypočteny dle vzorce 5.1.2.6. Výpočet jednotlivých veličin je uveden v tabulce 5.3.2.2, stejně tak jako hodnoty návrhových veličiny.

		<b>Výtlačné potrubí</b>	<b>Sací potrubí</b>
Průměr potrubí	D [mm]	140	200
Délka potrubí	l [m]	38,18	0,80
Hydraulická drsnost / průměr potrubí	$\Delta/D$ [-]	7,14E-06	5,00E-06
Průtočná plocha	$S=\pi \cdot DN^2/4$ [m <sup>2</sup> ]	0,02	0,03
Rychlost proudění	$v=Q/S$ [m/s]	1,43	0,70
Reynoldsovo číslo	$Re=v \cdot D/\nu$ [-]	150 068	105 048
Součinitel ztráty třením	$\lambda$ [-]	0,016	0,018
<b>Ztráta třením</b>	<b>Z<sub>ti</sub> [m]</b>	<b>0,452</b>	<b>0,002</b>

**Celková ztráta třením  $Z_t = 0,454$  m**

Tabulka 5.3.2.2: Výpočet ztrát třením

Kinematická viskozita vody  $\nu$  je uvažována při průměrné roční teplotě 9,5°C dle tabulky 5.1.2.4. Součinitel ztrát třením  $\lambda$  byl odečten z Moodyho diagramu (5.1.2.5) dle hodnoty Reynoldsova čísla  $Re$  a poměru  $\Delta/D$ . Hydraulická drsnost  $\Delta$  pro PVC byla určena z tabulky 5.1.2.6. Jednotlivé délky potrubí byly odečteny z výkresu 3.3. [66]

Místní ztráty byly vypočteny dle vzorce 5.1.2.7 a jsou spolu s použitými součiniteli uvedeny v tabulce 5.3.2.3.

Celkové ztráty jsou dle rovnice 5.1.2.5 rovny  $Z=1,69$  m. Pro ztrátu na bubnovém filtru budou ztráty navýšeny o 10%, a sice o 0,15 m na  $Z=1,67$  m. Dopravní výška jde dle vzorce 5.1.2.3 rovna  $H_d=4,61$  m.

### Výtlačné potrubí

	Počet	$\zeta [-]$
Čerpadlo zúžení (DN 140/150)	1	0,01
Kolena 90°	4	1,13
Koleno 24°	1	0,13
Zpětná klapka – otevřená	1	0,56
Výtok	1	1,00

Suma součinitelů místních ztrát	$\Sigma \zeta =$	6,22	-
Místní ztráta na výtlačném potrubí	$Z_{mv} =$	0,64	m

### Sací potrubí

	Počet	$\zeta [-]$
Vtok	1	0,50
Filtr – zúžení (DN 110/200)	1	0,31
Filtr – rozšíření (DN 200/110)	1	5,64
Ventil – otevřený	2	4,95
Zpětná klapka – otevřená	1	0,56
Čerpadlo rozšíření (DN 200/150)	1	0,60

Suma součinitelů místních ztrát	$\Sigma \zeta =$	17,51	-
Místní ztráta na sacím potrubí	$Z_{ms} =$	0,44	m

$$\text{Celkové místní ztráty} \quad Z_m = Z_{ms} + Z_{mv} = 1,08 \quad m$$

Tabulka 5.3.2.3: Výpočet místních ztrát

Vhodné čerpadlo pro průtok  $Q=22,0$  l/s a dopravní výšku  $H_d=4,61$  m bylo zvoleno za pomoci programu PHAN 3 jako UNIVERSE – A AQRS/150-1-230-GFW1. Jeho technický list nalezneme v příloze K.

Bylo ověřeno splnění podmínky pro pokles tlakové energie v sací části čerpadla daný výškou vodního sloupce (NPSH) dle podmínky 5.1.2.8. Požadované  $NPSH_r$  je odečteno z charakteristik čerpadla v příloze K jako  $NPSH_r=4,27$  m. Dostupné  $NPSH_a$  je spočteno dle vzorce 5.1.2.9. Stejně jako v předchozích variantách je atmosférický tlak uvažován jako  $H_A=10,34$  m, tlak nasycených vodních par je odečten z tabulky 5.1.2.13 jako  $h_p=0,24$  m. Ztráty na sacím potrubím jsou rovny  $h_{pv}=0,44$  m. Geodetická sací výška je odečtena z výkresu 3.3 jako  $h_s=-0,41$  m.  $NPSH_a$  se tedy rovná  $NPSH_a=10,34-0,24-0,44+0,41=10,11$  m.

Podmínka 5.1.2.8 je tedy splněna.

### 5.3.2.5 Výpočet průběhu hladiny

Výpočet byl zahájen určením typu rovnoměrného proudění jako říčního a to dle porovnání rovnoměrné hloubky  $y$  a s hloubkou kritickou  $y_k$ . Kritická hloubka  $y_k$  byla vypočtena ze vzorce

5.2.2.5, ve kterém je za Froudovo číslo dosazeno číslo jedna, tedy  $Fr=1$  a je rovna  $y_k=56$  mm. Hloubka rovnoměrného proudění byla v kapitole 5.3.2.2 určena jako 71 mm, což je vyšší než hloubka kritická a jedná se tedy o proudění říční.

Výpočet je tedy zahájen proti proudu od konce koryta, kde voda přepadá do akumulární nádrže a vyskytuje se zde tedy kritická hloubka 56 mm. Od této hloubky je pomocí Bernoulliho rovnice 5.2.2.1 v kombinaci s Chézyho rovnicí 5.2.2.2 protiproudu vypočítána vzdálenost, kde je dosaženo rovnoměrného proudění 71 mm.

Další část výpočtu je vedena po proudu směrem od stupně, kde nad stupněm vzniká kritická hloubka 56 mm. Zní je vypočítána hloubka vody pod stupněm 5.2.2.6 s rychlostním součinitelem  $\varphi=0,9$  jako 18 mm. Nacházíme se tedy v oblasti bystrinného proudění a výpočet dle rovnic 5.2.2.1 a 5.2.2.2 je prováděn po proudu. Pomocí těchto rovnic je nalezena vzdálenost, pro kterou hloubka vody odpovídá první hloubce vodního skoku 44 mm. Tato hloubka byla vypočtena dle vzorce pro vzájemní hloubky vodního skoku 5.2.2.7, jejíž počáteční podmínkou je druhá hloubka vodního skoku rovna 71 mm, tedy hloubce rovnoměrnému proudění, která je v tomto místě výškou dolní vody.

Vzhledem k tomu, že jsou oba stupně stejné, je výpočet pro první stupeň zcela identický a jednotlivé hloubky vody v okolí prvního stupně jsou rovny hloubkám v okolí stupně druhého. Mezi stupni dojde k vytvoření rovnoměrného proudění. Stejně tak i před prvním stupněm.

Na začátku koryta voda dopadá na dno koryta z otvoru a vytváří tak hloubku vody 20 mm (dle 5.2.2.6 rovnice se součinitelem  $\varphi=0,9$ ). Výpočet je zde veden dle rovnic 5.2.2.1 a 5.2.2.2 po proudu.

Vliv hydraulických ztrát v oblouku je zanedbán. Je pouze vypočteno převýšení hladin v jednotlivých obloucích dle rovnice 5.1.2.12. Tyto hodnoty nalezneme v tabulce 5.3.2.4, vykreslení průběhu hladin pak ve výkrese 3.2.

Pořadí oblouku	Oblouk 1	Oblouk 1	Oblouk 2	Oblouk 2	Oblouk 2
	nad stupněm	pod stupněm	-	nad stupněm	pod stupněm
Poloměr oblouku $r$ [m]	5	5	5	5	5
Šířka koryta $B$ [m]	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Rychlost proudění $v$ [m/s]	0,75	2,32	0,59	0,75	2,32
<b>Převýšení hladiny <math>\Delta H</math> [mm]</b>	<b>3</b>	<b>27</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>27</b>

Tabulka 5.3.2.4: Převýšení hladin v obloucích



### 5.3.3 Zhodnocení varianty 3

I varianta 3 vyžaduje značné množství zemních prací, avšak na rozdíl od varianty 2 může být pro zasypání prohlubně použita zemina, která zbude při snižování terénu jihovýchodní části prostoru. Nevýhodou je velké vydlážděný prostor a tedy menší prostor zatravněný. To však dává celé variantě potřebnou vzdušnost a nechává tak více vyniknout jednotlivé vodní prvky.

Cestička k budově Fakulty architektury ČVUT v Praze je zachována.

Tato varianta postrádá interaktivní funkci, avšak vzdělávací funkce je významná. Je podpořena odkazy na webové stránky s vhodnou tematikou v podobě QR kódu. V této diplomové práci QR kódy odkazují na stránky Fakulty stavební, ČVUT v Praze. Vhodnější by však bylo vytvořit stránky speciálně pro tento účel, které by návštěvníkům poskytly dodatečné informace ve vhodně strukturovaném prostředí.

## 6 ZÁVĚR

V této diplomové práci bylo dosaženo všech předem stanovených cílů:

- Proběhlo seznámení se s problematikou výstavby interaktivních vodních prvků
- Informace získané z již existujících staveb byly využity pro návrh variantních řešení oživení prostoru před budovou Fakulty stavební, ČVUT v Praze pomocí vodních prvků.
- Znalosti nabyté během studia posloužily k návrhu třech variantních řešení a jejich jednotlivých prvků.
- Každá z variant byla zhodnocena a byly uvedeny argumenty pro a proti.

### Seznam použité literatury

- [01]: Hlaváček a Partner - architektonický ateliér [online], Hlaváček a Partner, s.r.o., 2019, [citace 2.10.2019], Dostupné z: <http://www.hlavacek-partner.cz/projekt/78>
- [02]: Reference - fontána Staroměstské nám., Mladá Boleslav [online], KTS - AME s.r.o., 2019, [citace 2.10.2019], Dostupné z: <http://www.kts-ame.cz/reference/fontany-kasny-a-jezirka/fontany-reference-staromestske-namesti-mlada-boleslav>
- [03]: Stavba roku [online], Nadace pro rozvoj architektury a stavitelství, 2019, [citace 02.10.2019], Dostupné z: <http://www.stavbaroku.cz/printDetail.do?Dispatch=ShowDetail&siid=1189>
- [04]: Vodní prvky v Malešickém parku: Pražské kašny a fontány [online], Pavel Dvořák, 2016, [citace 7.10.2019], Dostupné z: <https://www.prazskekasny.cz/vodni-prvky-v-malesickem-parku/>
- [05]: Kaskády v Malešickém parku nefungují [online], Roman Šafhauser, 2017, [citace 7.10.2019], Dostupné z: [https://www.idnes.cz/praha/zpravy/vodni-svet-malesicky-park-oprava.A170815\\_135536\\_praha-zpravy\\_rsr](https://www.idnes.cz/praha/zpravy/vodni-svet-malesicky-park-oprava.A170815_135536_praha-zpravy_rsr)
- [06]: Praha 10 - Facebook [online], Tým Praha 10, 2019, [citace 7.10.2019], Dostupné z: <https://www.facebook.com/praha10/posts/10162218165765456>
- [07]: Vodní prvky v Malešickém parku jsou mimo provoz [online], Pražský patriot, 2018, [citace 7.10.2019], Dostupné z: <https://www.prazskypatriot.cz/vodni-prvky-v-malesickem-parku-jsou-mimo-provoz/>
- [08]: Malešický park – omezení provozu vodních prvků [online], Zuzana Dufková, 2017, [citace 7.10.2019], Dostupné z: <https://verejneprostory.cz/hlavni-stranka/novinky/artmid/4892/malesicky-park-%e2%80%93-omezeni-provozu-vodnich-prvku?articleid=1753>
- [09]: Vodní svět [online], AVČ Gutovka, 2019, [citace 7.10.2019], Dostupné z: <http://www.gutovka.cz/letni-cenik/vodni-svet/>
- [10]: Vodní svět [online], AVČ Gutovka, 2016, [citace 7.10.2019], Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20130817072258/http://www.gutovka.cz/Pro-deti/Vodni-svet.aspx>
- [11]: Gutovka nás baví - Facebook [online], Team Gutovka, 2018, [citace 7.10.2019], Dostupné z: <https://www.facebook.com/gutovka/photos/a.232897446821834/1548544055257160/?type=1&theater>
- [12]: O fakultě | FSV ČVUT [online], ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2019, [citace 1.11.2019], Dostupné z: <https://web.fsv.cvut.cz/o-fakulte/>
- [13]: Proudění s volnou hladinou - Katedra hydrauliky a hydrologie - K141 [online], Doc. Ing. Aleš Havlík, CSc., Ing. Tomáš Pícek PhD., 2014, [citace 1.11.2019], Dostupné z: [http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/HYAR/ke\\_stazeni/prednasky/HYAR\\_pr\\_07.pdf](http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/HYAR/ke_stazeni/prednasky/HYAR_pr_07.pdf)
- [14]: Výběr potřebných tabulek a grafů, Katedra hydrauliky a hydrologie - K141 [online], 2015, [Citace 1.11.2019], Dostupné z: [http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/Hya/ke\\_stazeni/cviceni/tabulky\\_1.pdf](http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/Hya/ke_stazeni/cviceni/tabulky_1.pdf)
- [14]: Výběr potřebných tabulek a grafů [online], Katedra hydrauliky a hydrologie - K141 [online], 2015, [Citace 1.11.2019], Dostupné z: Výběr potřebných tabulek a grafů
- [15]: Výtok otvorem - Katedra hydrauliky a hydrologie - K141 [online], Doc. Ing. Aleš Havlík, CSc., Ing. Tomáš Pícek PhD., 2008, [http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/Hya/ke\\_stazeni/prednasky/06\\_vytok\\_otvorem.pdf](http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/Hya/ke_stazeni/prednasky/06_vytok_otvorem.pdf)
- [16]: Úprava vody pro fontány a kašny [online], EuroClean.cz, 2018, [citace 1.11.2019], Dostupné z: <https://euroclean.cz/sluzby/fontany/>
- [17]: Základní výpočet bazénu [online], Astral - bazénové příslušenství, s. r. o., 2018, [citace 1.11.2019], Dostupné z: <http://www.astralpool.cz/zakaznicka-podpora.php>

- [18]: Hydraulika potrubí - Katedra hydrauliky a hydrologie - K141 [online], Doc. Ing. Aleš Havlík, CSc., Ing. Tomáš Pícek PhD., 2014, [citace 4.11.2019], Dostupné z: [http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/Hya/ke\\_stazeni/prednasky/04\\_hydraulika\\_potrubu.pdf](http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/Hya/ke_stazeni/prednasky/04_hydraulika_potrubu.pdf)
- [19]: Hydrostatika - Katedra hydrauliky a hydrologie - K141 [online], Doc. Ing. Aleš Havlík, CSc., Ing. Tomáš Pícek PhD., 2014, [citace 4.11.2019], Dostupné z: [http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/Hya/ke\\_stazeni/prednasky/01b\\_hydrostatika.pdf](http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/Hya/ke_stazeni/prednasky/01b_hydrostatika.pdf)
- [20]: Drsnost potrubí [online], Vodovod.info - portál vodárenství, 2010, [citace 4.11.2019], Dostupné z: <http://www.vodovod.info/index.php/tabulky/196-drsnost-potrubu#.Xa8M7egzaUk>
- [21]: Hodnoty součinitelů místních ztrát - T-kusy - podrobně [online], TZB-info, Karel Laboutka, Tomáš Suchánek, 2016, [citace 4.11.2019], Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/24-hodnoty-soucinitelu-mistnich-ztrat-t-kusy-podrobne>
- [22]: Filtrační zařízení [online], Astral - bazénové příslušenství, s. r. o., 2018, [citace 4.11.2019], Dostupné z: <http://www.astralpool.cz/stahnout/filtracni-zarizeni>
- [23]: Marushka - Mapový aplikační server [online], 2001-2006 GEOVAP, spol. s r.o., 2019, [citace 19.11.2019], Dostupné z: <http://sgi-nahlizenidokn.cuzk.cz/marushka/default.aspx?themeid=3&&MarQueryId=6D2BCEB5&MarQParam0=729272&MarQParamCount=1&MarWindowName=Marushka>
- [24]: Bubnový filtr AEM D-100. Jezírka eshop, kompletní sortiment pro zahradní jezírka [online], Star-fish jezírka s.r.o., 2019, [citace 14. 12. 2019], Dostupné z: <https://www.jezirka-eshop.cz/bubnovy-filtr-aem-d-100/pro1447.html>
- [25]: TZB-info: Co znamená veličina NPSH pro oběhová čerpadla? [online], TOPinfo s.r.o., 2019, [citace 14.12.2019], Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/teorie-a-schemata/2607-co-znamenavelicina-npsh-pro-obehova-cerpadla>
- [26]: Hydraulika otevřených koryt - Katedra hydrauliky a hydrologie - K141 [online], Doc. Ing. Aleš Havlík, CSc., Ing. Tomáš Pícek PhD., 2014, [citace 14.12.2019], Dostupné z: [http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/HY2V/ke\\_stazeni/prednasky/HY2V\\_05\\_Ustalene\\_proudeni\\_v\\_korytech.pdf](http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/HY2V/ke_stazeni/prednasky/HY2V_05_Ustalene_proudeni_v_korytech.pdf)
- [27]: Vehicles CAD Blocks: cars in complete views [online], CAD Blocks.net, free AutoCAD files, 2015, [citace 15.12.2019], Dostupné z: <https://cad-blocks.net/vehicles-cad-blocks-cars-complete-views.html>
- [28]: Railway Locomotives and Cars DWG [online], DWG models, 2019, [citace 15.12.2019], Dostupné z: <https://dwgmodels.com/597-railway-locomotives-and-cars.html>
- [29]: Arch bridge with intermediate board in AutoCAD [online], Bibliocad - Bloques AutoCAD Gratis, 2019, [citace 15.12.2019], Dostupné z: [https://www.bibliocad.com/en/library/arch-bridge-with-intermediate-board\\_123241/](https://www.bibliocad.com/en/library/arch-bridge-with-intermediate-board_123241/)
- [30]: Vegetation CAD Blocks: trees in elevation view [online], CAD Blocks.net, free AutoCAD files, 2016, [citace 15.12.2019], Dostupné z: <https://cad-blocks.net/vegetation-cad-blocks-trees-elevation.html>
- [31]: Vegetation CAD Blocks: plants in elevation view [online], CAD Blocks.net, 2016, [citace 15.12.2019], Dostupné z: <https://cad-blocks.net/vegetation-cad-blocks-plants-elevation.html>
- [32]: Family house DWG [online], DWG models, 2019, [citace 15.12.2019], Dostupné z: <https://dwgmodels.com/651-family-house.html>
- [33]: Pan učitel [online], Omalovanky.eu, 2014, [citace 15.12.2019], Dostupné z: [http://xn--omalovnky-51a.eu/omalov%C3%A1nky/pan%20u%C4%8Ditel\\_1950](http://xn--omalovnky-51a.eu/omalov%C3%A1nky/pan%20u%C4%8Ditel_1950)
- [34]: DWG models [online], Crane DWG, 2019, [citace 15.12.2019], Dostupné z: <https://dwgmodels.com/404-crane.html>
- [35]: High-rise residential CAD building plans [online], hereisfree.com, 2011, [citace 15.12.2019], Dostupné z: [http://www.hereisfree.com/3d\\_cad\\_download/free-download\\_596.html](http://www.hereisfree.com/3d_cad_download/free-download_596.html)

- [36]: Složení betonu - složky betonu [online], Svaz výrobců Betonu - eBeton, 2019, [citace 15.12.2019], Dostupné z: <http://www.ebeton.cz/pojmy/slozeni-betonu-slozky-betonu>
- [37]: Plenění stock vektory a royalty free ilustrace [online], Depositphotos Inc., USA, 2019, [citace 15.12.2019], Dostupné z: <https://cz.depositphotos.com/vector-images/plen%C4%9Bn%C3%AD.html>
- [38]: Pohádkové omalovánky - Krteček [online], Předškoláci - Pedagogický magazín - rovoj a výchova dětí, 2019, [citace 15.12.2019], Dostupné z: <http://www.predskolaci.cz/kртеcek/5710>
- [39]: Firefighter in AutoCAD [online], Bibliocad - Bloques AutoCAD Gratis, 2019, [citace 15.12.2019], Dostupné z: [https://www.bibliocad.com/en/library/firefighter\\_46089/](https://www.bibliocad.com/en/library/firefighter_46089/)
- [40]: Protipožární plameny, nastavení ikon [online], Depositphotos Inc., USA, 2019, [citace 15.12.2019], Dostupné z: <https://cz.depositphotos.com/66628163/stock-illustration-fire-flames-set-icons.html>
- [41]: Nepravidelná kamenná dlažba - přírodní kámen [online], Přírodní kámen pro dům i zahradu - Kameny.cz, 2019, [citace 15.12.2019], Dostupné z: <https://www.kameny.cz/nepravidelne-kamenne-dlazby/>
- [42]: Francisova turbína [online], Viktor Laika, 2001, [citace 16.12.2019], Citace z: <http://mve.energetika.cz/pretlakoveturbiny/francis-vertik.htm>
- [43]: Bankiho turbína [online], Viktor Laika, 2001, [citace 16.12.2019], Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/primotlaketurbiny/banki.htm>
- [44]: Kaplanova turbína, Viktor Laika, 2001, [citace 16.12.2019], Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/pretlakoveturbiny/kaplan-s.htm>
- [45]: Vodní trkač, Viktor Laika, 2001, [citace 16.12.2019], Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/jineturbiny/trkac.htm>
- [46]: Peltonova turbína [online], Viktor Laika, 2001, [citace 16.12.2019], Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/primotlaketurbiny/pelton.htm>
- [47]: Navrhování Plavebních stupňů, prof. Ing. Pavel Gabrile, DrSc., Ing. Vladimír Medřický, CSc., České vysoké učení technické, Stavení fakulta, Praha, 2009
- [48]: Archimédův šroub, Viktor Laika, 2001, [citace 16.12.2019], Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/jineturbiny/archimedes.htm>
- [49]: HYDROTECHNISKÉ STAVBY 1 Navrhování jezů, Doc. Ing. Vladimír Medřický, C Sc., Doc. Ing. Petr Valenta, CSs., Českévysoké učení technické, Fakulta stavební, Praha, 2009
- [50]: Rubber band powered boat [online], Vilac - fabricant de jouets en bois pour enfants depuis 1911, 2015, [citace 16.12.2019], Dostupné z: <https://www.vilac.com/en/accueil/824-rubber-band-powered-boat-3048700029416.html>
- [51]: Balloon powered boat [online], Vilac - fabricant de jouets en bois pour enfants depuis 1911, 2015, [citace 16.12.2019], Dostupná z: <https://www.vilac.com/en/accueil/506-balloon-powered-boat-3048700029065.html>
- [52]: Vodohospodářská zařízení III [online, VŠB-TUO, 2013, [citace 16.12.2019], Dostupné z: <http://hg10.vsb.cz/546/VHZ3/jezy.html>
- [53]: Vodní skok - Katedra hydrauliky a hydrologie - K141 [online], Doc. Ing. Aleš Havlík, CSc., Ing. Tomáš Pícek PhD., 2014, [citace 16.12.2019], Dostupné z: [http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/HY2V/ke\\_stazeni/prednasky/HY2V\\_07\\_Vodni\\_skok.pdf](http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/HY2V/ke_stazeni/prednasky/HY2V_07_Vodni_skok.pdf)
- [54]: Výtok otvorem - Katedra hydrauliky a hydrologie - K141 [online], Doc. Ing. Aleš Havlík, CSc., Ing. Tomáš Pícek PhD., 2014, [citace 16.12.2019], Dostupné z: [http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/Hya/ke\\_stazeni/prednasky/06\\_vytok\\_otvorem.pdf](http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/Hya/ke_stazeni/prednasky/06_vytok_otvorem.pdf)
- [55]: Přepady - Katedra hydrauliky a hydrologie - K141 [online], Doc. Ing. Aleš Havlík, CSc., Ing. Tomáš Pícek PhD., 2014, [citace 16.12.2019], Dostupné z: [http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/HY2V/ke\\_stazeni/prednasky/HY2V\\_06\\_Prepady.pdf](http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/HY2V/ke_stazeni/prednasky/HY2V_06_Prepady.pdf)

- [56]: Mlatové cesty a povrchy, Parkdecor - revoluční materiál pro minerální povrchy, 2019, [citace 16.12.2019], Dostupné z: <https://parkdecor.cz/mlatove-povrchy>
- [57]: Filtrační zařízení [online], Astral - bazénové příslušenství, s. r. o., 2018, [citace 17.12.2019], Dostupné z: <http://www.astralpool.cz/stahnout/filtracni-zarizeni>
- [58]: Waterfilter - HYDRO FC-180D. [online], Waterfilter - Filtrace a úprava vody, 2019, [citace 17.12.2019], Dostupné z: <https://www.waterfilter.cz/uv-lampy/prumyslove-uv-lampy/hydro-fc-180d.html>
- [59]: Dávkovací sety AquaDos [online], EuroClean.cz | Úprava vody pro průmysl i domácnosti, 2019, [citace 17.12.2019], Dostupné z: <https://euroclean.cz/dezinfekce-vody/aquados/>
- [60]: Proudění v potrubí - Katedra hydrauliky a hydrologie - K141 [online], Doc. Ing. Aleš Havlík, CSc., Ing. Tomáš Pícek PhD., 2014, [citace 1.1.2020], Dostupné z: [http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/HYAR/ke\\_stazeni/prednasky/HYAR\\_pr\\_04.pdf](http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/HYAR/ke_stazeni/prednasky/HYAR_pr_04.pdf)
- [61]: Čištění odpadních vod - Katedra hydrauliky a hydrologie [online], Doc. Ing. Aleš Havlík, CSc., 2016, [citace 2.1.2020], Dostupné z: [http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Vin/ke\\_stazeni/Cistení\\_odpadnich\\_vod.pdf](http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Vin/ke_stazeni/Cistení_odpadnich_vod.pdf)
- [62]: Zásobování vodou - Katedra hydrologie a hydrauliky [online], Doc. Ing. Aleš Havlík, CSc., 2016, [citace 2.1.2020], Dostupné z: [http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Vin/ke\\_stazeni/Vodarenstvi.pdf](http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Vin/ke_stazeni/Vodarenstvi.pdf)
- [63]: Učební text pro obor Instalatér, 3. ročník, Ing. Ladislav Lupták, Lubomír Šmarda, Střední škola polytechnická, Brno, Jílová 36g, 2016
- [64]: Generátor QR kódu | qikni.cz [online], ABIA quatro, s.r.o., 2013, [citace 2.1.2020], Dostupné z: <https://www.qikni.cz/generovani-qr-kodu.html>
- [65]: Hydraulika (příklady), Ing. Vladimír Havlík, CSc., Ing. Ivana Marešová, České vysoké učení technické, Stavební fakulta, Praha, 2001
- [66]: KLIMATICKÉ POMĚRY ÚZEMÍ ČESKÉ REPUBLIKY [online], Katedra geografie Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, 2015, [citace 4.11.2019], Dostupné z: [https://geography.upol.cz/soubory/lide/smolova/GCZ/GCZ\\_Klima.pdf](https://geography.upol.cz/soubory/lide/smolova/GCZ/GCZ_Klima.pdf)

## 8 SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A ROVNIC

### Seznam obrázků

Obrázek 3.1.1: Situace Staroměstského náměstí v Mladé Boleslavi [3].....	3
Obrázek 3.1.2: Fontána.....	3
Obrázek 3.1.3: Socha 1.....	4
Obrázek 3.1.4: Socha 2.....	5
Obrázek 3.1.5: Celkový pohled na koryto.....	5
Obrázek 3.1.6: Vodní kaskáda.....	6
Obrázek 3.1.7: Bazének s vodopádem.....	6
Obrázek 3.1.8: Vodní písky.....	7
Obrázek 3.2.1: Vodní kaskáda.....	8
Obrázek 3.2.2: Herní prvky pro děti.....	8
Obrázek 3.2.3: Vodotrysky se žlabem.....	9
Obrázek 3.2.4: Nádrž s pumpami.....	9
Obrázek 3.2.5: Lopatková kola.....	10
Obrázek 3.2.6: Vodní šneky.....	10
Obrázek 3.2.7: Archimédovy šrouby.....	11
Obrázek 3.3.1: Vodní svět Gutovka [9].....	12
Obrázek 3.3.2: Vodní tryska.....	13
Obrázek 3.3.3: Nautillus šnek.....	13



Obrázek 3.3.4: Rotační <i>dopravník</i> .....	14
Obrázek 3.3.5: Archimédův šroub.....	14
Obrázek 3.3.6: Čerpací kolo.....	15
Obrázek 3.3.7: Vodní dílo.....	15
Obrázek 3.3.8: Vodní pumpa.....	16
Obrázek 4.1: Prostor určený k oživení [23].....	17
Obrázek 5.2.2.1: Francisova turbína [42].....	36
Obrázek 5.2.2.2: Bankiho turbína [43].....	37
Obrázek 5.2.2.3: Kaplanova turbína [44].....	38
Obrázek 5.2.2.4: Peltonova turbína [46].....	39
Obrázek 5.3.2.1: Rychlosti v jednotlivých potrubích.....	61
Obrázek 5.3.2.2: Průtoky v jednotlivých potrubích.....	62
Obrázek 5.3.2.3: Nadmořské výšky v jednotlivých uzlech.....	63
Obrázek 5.3.2.4: Tlaky v jednotlivých uzlech.....	64
Obrázek 5.3.2.5: Dimenze jednotlivých potrubí.....	66

## Seznam tabulek

Tabulka 5.1.2.1 Hodnoty Manningova součinitele drsnosti n otevřených koryt s částečně nebo zcela umělým povrchem [14].....	20
Tabulka 5.1.2.2: Průtoky v potrubí z PVC [17].....	22
Tabulka 5.1.2.3: Výpočet ztrát třením.....	24
Tabulka 5.1.2.4: Hustota $\rho$ a kinematická viskozita vody v při tlaku 105 Pa [14].....	25
Tabulka 5.1.2.5: Moodyho diagram [14].....	25
Tabulka 5.1.2.6: Drsnost potrubí [20].....	26
Tabulka 5.1.2.7: Výpočet místních ztrát.....	27
Tabulka 5.1.2.8: Součinitel ztráty náhlým zúžením průřezu dle Tullise [14].....	27
Tabulka 5.1.2.9: Součinitel ztrát náhlým rozšířením průřezu (Bordova ztráta) [14].....	28
Tabulka 5.1.2.10: Ztrátový součinitel ostrých kolen podle Thomy [14].....	28
Tabulka 5.1.2.11: Součinitel ztráty vtokem do potrubí a výtokem do velké nádrže [14].....	28
Tabulka 5.1.2.12: Průtokové charakteristiky vnitřních uzávěrů podle Tullise [14].....	28
Tabulka 5.1.2.13: Závislost tlaku nasycených vodních par na teplotě [25].....	29
Tabulka 5.1.2.14: Výpočet ztrát třením - vodotrysk.....	31
Tabulka 5.1.2.15: Místní ztráty - vodotrysk.....	32
Tabulka 5.1.2.16: Převýšení hladin v obloucích.....	33
Tabulka 5.2.2.1: Převýšení hladin v jednotlivých obloucích.....	43
Tabulka 5.2.2.2: Rychlostní součinitele při dopadu na dno koryta nebo vývaru [65].....	46
Tabulka 5.2.2.3: Hodnoty součinitelů pro výtok otvorem [14].....	47
Tabulka 5.2.2.4: Součinitel průtoku pro klapkový jez [55].....	51
Tabulka 5.2.2.5: Průměry pískových filtrů a jejich průtoky při různých filtračních rychlostech [17].....	54
Tabulka 5.2.2.6: Výpočet ztrát třením.....	55
Tabulka 5.2.2.7: Výpočet místních ztrát.....	56
Tabulka 5.2.2.8: Spojení potrubí [21].....	57
Tabulka 5.2.2.9: Rozdělení potrubí [21].....	58
Tabulka 5.2.2.10: Tlakové ztráty velkých pískových filtrů [22].....	59
Tabulka 5.3.2.1: Délky jednotlivých druhů potrubí.....	66
Tabulka 5.3.2.2: Výpočet ztrát třením.....	70
Tabulka 5.3.2.3: Výpočet místních ztrát.....	71
Tabulka 5.3.2.4: Převýšení hladin v obloucích.....	72

## Seznam rovnic

Rovnice 5.1.2.1: Chézyho rce [13].....	18
Rovnice 5.1.2.2 Chézyho rychlostní součinitel [13].....	19
Rovnice 5.1.2.3: Dopravní výška [18].....	22
Rovnice 5.1.2.4: Hydrostatický tlak [19].....	23
Rovnice 5.1.2.5: Celkové ztráty [18].....	23
Rovnice 5.1.2.6: Ztráty třením [18].....	24
Rovnice 5.1.2.7: Místní ztráty [18].....	26
Rovnice 5.1.2.8: Net positive suction head [25].....	29
Rovnice 5.1.2.9: Dostupné NPSH [25].....	29
Rovnice 5.1.2.10: Doskok paprsku [15].....	30
Rovnice 5.1.2.11: Výška dostřiku [15].....	30
Rovnice 5.1.2.12: Převýšení hladin v obloucích [26].....	33
Rovnice 5.2.2.1: Bernoulliho rovnice [26].....	42
Rovnice 5.2.2.2: Sklon z Chézyho rovnice [26].....	42
Rovnice 5.2.2.3: Ztráty třením v otevřených korytech [26].....	43
Rovnice 5.2.2.4: Ztráty změnou průřezu [26].....	43
Rovnice 5.2.2.5: Froudovo číslo [26].....	44
Rovnice 5.2.2.6: Hloubka vody pod stupněm [53].....	44
Rovnice 5.2.2.7: Vzájemné hloubky vodního skoku [53].....	45
Rovnice 5.2.2.8: Délka prostého vodního skoku dle Smetany [53].....	45
Rovnice 5.2.2.9: Výtok malým otvorem [54].....	47
Rovnice 5.2.2.10: Přepad přes jezové těleso [55].....	48
Rovnice 5.2.2.11: Součinitel přepadu dle Kramera [55].....	48
Rovnice 5.2.2.12: Součinitel přepadu dle Bazina [55].....	49
Rovnice 5.2.2.13: Přepad přes jezovou klapku [55].....	51
Rovnice 5.3.2.1: Fiktivní hydraulický průměr [60].....	65

## 9 SAMOSTATNÉ PŘÍLOHY

A-Technický list bubnového filtru

B- Technický list hlavního čerpadla (varianta 1)

C- Technický list čerpadla vodotrysku

D- Technický list dřevěné loďky

E- Hydraulické výpočty (varianta 2)

F- Technický list pískové filtru

G- Technický list UV lampy

H- Technický list dávkovače chemikálií

CH- Technický list hlavního čerpadla (varianta 2)

I-Tabulka charakteristik jednotlivých potrubí

J- Tabulka charakteristik jednotlivých uzlů

K-Technický list hlavního čerpadla (varianta 3)

L- Hydraulické výpočty (varianta 3)

## **10 VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE**

### **Seznam výkresů**

1.1 VARIANTA 1 Situace

1.2 VARIANTA 1 Podélný profil

1.3 VARIANTA 1 Technologická část

1.4 VARIANTA 1 Detaily modelů

2.1 VARIANTA 2 Situace

2.2 VARIANTA 2 Podélný profil

2.3 VARIANTA 2 Technologická část

2.4 VARIANTA 2 Objekt 1: Válcový jez a Francisova turbína

2.5 VARIANTA 2 Objekt 2: Segmentový jez a Bankiho turbína

2.6 VARIANTA 2 Objekt 3: Skluz a Kaplanova turbína

2.7 VARIANTA 2 Objekt 4: Vodní trkač a Peltonova turbína

2.8 VARIANTA 2 Objekt 5: Klapkový jez a plavební komora

2.9 VARIANTA 2 Objekt 6: Stavidlový jez a skluz

2.10 VARIANTA 2 Archimédův šroub

2.11 VARIANTA 2 Přístaviště

3.1 VARIANTA 3 Situace

3.2 VARIANTA 3 Podélný profil

3.3 VARIANTA 3 Technologická část

3.4 VARIANTA 3 Detaily modelů – zdroj vody

3.5 VARIANTA 3 Detaily modelů - vodojem